Л. И. Редькина и Б. Е. Редькин

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОММУТАТОРЫ К ОСЦИЛЛОГРАФАМ



·ЭНЕРГИЯ·

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 718

Л. И. РЕДЬКИНА и Б. Е. РЕДЬКИН

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОММУТАТОРЫ К ОСЦИЛЛОГРАФАМ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1969

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава первая. **Методы осциллографирования нескольких процессов** 4

Вводные замечания 4
Осциллографирование двухлучевым осциллографом 5
Осциллографирование двухканальным осциллографом . . 7
Осциллографирование нескольких процессов выбором определенной системы синхронизации 9

Глава вторая. **Принципы построения электронных коммутаторов** 11

Назначение, устройство и принцип действия коммутаторов 11
Способы переключения каналов 14
Основные узлы коммутаторов 16

Глава третья. **Выбор электронного коммутатора и его применение** 41

Основные технические характеристики коммутаторов 41
Выбор коммутатора по заданным характеристикам . 44
Применение коммутаторов 46

Глава четвертая. **Практические схемы коммутаторов** . 48

Двухканальный релейный коммутатор 48
Коммутаторы на электронных лампах 49
Коммутаторы на полупроводниковых приборах . . . 51

6П2.151
Р33

УДК 621.317.755.084

Редькина Л. И. и Редькин Б. Е.

Р 33 Электронные коммутаторы к осциллографам. М., «Энергия», 1969.

64 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 718)

Рассматриваются принципы построения электронных коммутаторов, их основные характеристики и возможности применения; описаны основные узлы коммутаторов и их выбор по заданным техническим характеристикам; приводятся схемы коммутаторов на реле, электровакуумных и полупроводниковых элементах.

Предназначена для радиолюбителей-конструкторов.

3-4-5
377-68 6П2.151

Редькина Людмила Ивановна и Редькин Борис Егорович

Электронные коммутаторы к осциллографам

Редактор *Ю. Б. Русанов*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Технический редактор *Л. В. Иванова* Корректор *И. Д. Панина*

Сдано в набор 28/I 1969 г. Подписано к печати 15/IX 1969 г. Т-11524
Формат $84 \times 108^{1}/_{32}$ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 3,36 Уч.-изд. л. 4,43
Тираж 50 000 экз. Цена 18 коп. Зак. 2040

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время трудно найти такую отрасль науки, в которой не применялись бы электронные осциллографы. Они используются как для визуального наблюдения исследуемых процессов, так и для измерения параметров этих процессов. При ремонте, поверке, налаживании и испытании радиоаппаратуры, а также при различных лабораторных исследованиях часто возникает необходимость в одновременном наблюдении и измерении характеристик двух или нескольких электрических процессов. Например, сравнение кривых входного и выходного напряжений усилителя позволяет судить об искажениях, возникающих в усилителе. Особенно часто возникает такая необходимость при контроле работоспособности различных импульсных схем, например мультивибраторов, триггеров счетных декад и др.

Для одновременного наблюдения нескольких исследуемых процессов применяются многолучевые или обычные однолучевые осциллографы, снабженные специальной приставкой — электронным коммутатором [1]. Исследователь не всегда располагает двух- или многолучевым осциллографом, который является сложным и дорогостоящим прибором. Поэтому в последние годы возрос интерес к электронным коммутаторам, представляющим собой сравнительно несложные приставки к обычным осциллографам. Хотя отечественная промышленность и выпускает два типа коммутаторов, рассчитанных на совместную работу с осциллографами определенных типов, многие лаборатории, мастерские и другие организации испытывают необходимость в изготовлении простых и надежных электронных коммутаторов к используемой аппаратуре. Число одновременно наблюдаемых осциллограмм определяется количеством каналов в коммутаторе или количеством лучей в трубке, примененной в осциллографе. Принципиально возможно построить коммутатор с большим числом каналов, однако практически необходимость в этом встречается редко. Построить же многолучевую трубку значительно сложнее и дороже. Поэтому на практике наибольшее распространение получили двухлучевые осциллографы и двухканальные коммутаторы. Благодаря ряду бесспорных преимуществ осциллографов, применяемых с коммутаторами, перед многолучевыми осциллографами (использование однолучевой трубки, не надо двух дорогостоящих усилителей вертикального отклонения и т. д.) электронные коммутаторы становятся сегодня необходимым вспомогательным оборудованием для инженеров и радиолюбителей.

[1] Некоторые авторы применяют другое название для электронных коммутаторов — электронные переключатели. Поскольку чаще всего в коммутаторах применяются усилительные каскады, собранные на лампах или транзисторах, их иногда также называют усилителями-переключателями.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

МЕТОДЫ ОСЦИЛЛОГРАФИРОВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ПРОЦЕССОВ

Вводные замечания

В процессе разработки, настройки, эксплуатации и при проведении различных исследований очень часто возникает задача, заключающаяся в том, чтобы установить соответствие или различие

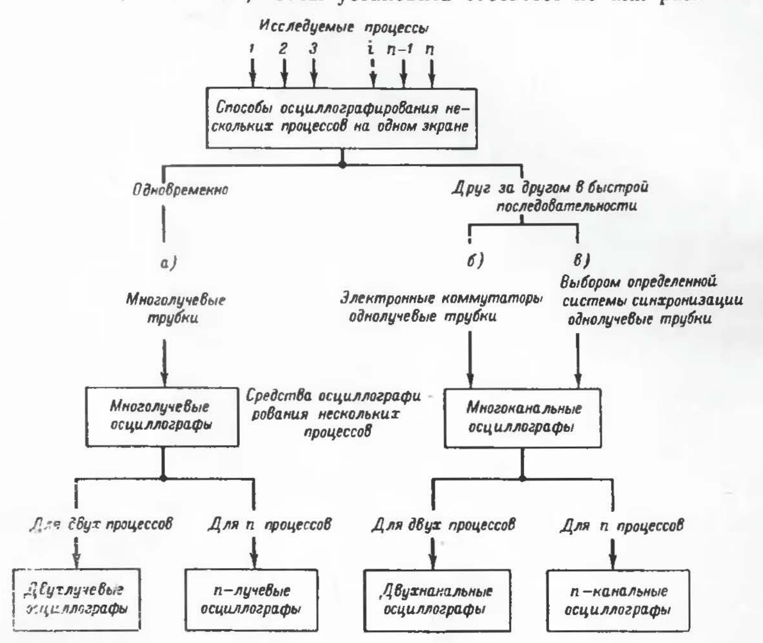


Рис. 1. Способы и средства осциллографирования нескольких процессов на экране осциллографа.

во времени нескольких переменных электрических величин (напряжений, токов и др.), характеризующих исследуемый процесс. Такое соответствие может быть легко установлено путем непосредственного сравнения осциллограмм этих процессов, полученных в одни и

те же моменты времени. Для получения таких осциллограмм необходимо иметь электронно-лучевые осциллографы, с помощью которых можно было бы осциллографировать на экране электроннолучевой трубки одновременно несколько процессов. Рисунок 1 показывает, каким образом можно осуществить осциллографирование нескольких процессов. Из рис. 1 видно, что для этих целей можно использовать осциллографы двух типов: многолучевые и однолучевые с многоканальным коммутатором.

Принципы построения многолучевых и однолучевых осциллографов одинаковы. Многолучевой осциллограф характеризуется наличием многолучевой электронной трубки и имеет в этом случае многоканальный усилитель вертикального отклонения. В однолучевом осциллографе имеются однолучевая трубка и одноканальный усилитель вертикального отклонения. Применение коммутатора, подключенного на входе усилителя вертикального отклонения однолучевого осциллографа, позволяет сделать его многоканальным, т. е. способным осциллографировать одновременно несколько процессов, число которых зависит от числа каналов коммутатора.

В практике наиболее широкое распространение получили осциллографы для исследования двух процессов — двухлучевые осциллографы и однолучевые осциллографы с двухканальным коммутатором. В некоторых случаях получение двух осциллограмм достигается выбором определенной системы синхронизации. Следует заметить, что осциллограммы о нескольких одновременно протекающих электрических процессах можно получить, включив необходимое количество однолучевых осциллографов с общей синхронизацией. Однако практически такой способ почти не применяется из-за своей дороговизны, к тому же он обладает рядом недостатков: различная чувствительность трубок, неодинаковый масштаб времени и др.

Осциллографирование двухлучевым осциллографом

Упрощенная функциональная схема двухлучевого осциллографа приведена на рис. 2. По сравнению с однолучевым осциллографом он имеет дополнительный усилитель вертикального отклонения (Y_{II}) и двухлучевую трубку. Усилители вертикального отклонения Y_I и Y_{II} конструируются из тех же соображений, что и усилитель вертикального отклонения однолучевого осциллографа. Двухлучевая трубка построена так, что оба электронных луча одновременно вычерчивают на светящемся экране обе осциллограммы. По виду получения луча и системы горизонтального отклонения различают две разновидности выполнения двухлучевых трубок:

раздельное получение лучей и раздельные вертикально отклоняющие пластины (рис. 3,*а*) В одной колбе трубки содержатся две совершенно друг от друга независимые однолучевые системы для получения, собирания в пучок и отклонения обоих лучей. Этот вид выполнения электроннолучевой трубки используют в большинстве двухлучевых универсальных осциллографов. Горизонтально отклоняющие пластины у таких осциллографов тоже делают, как правило, раздельными;

щелевая лучевая система (рис. 3,*б*), характеризующаяся общей системой получения луча. Такие трубки имеют обычно и общие горизонтально отклоняющие пластины. Выполненные таким образом электроннолучевые трубки применяются в более простых и дешевых осциллографах.

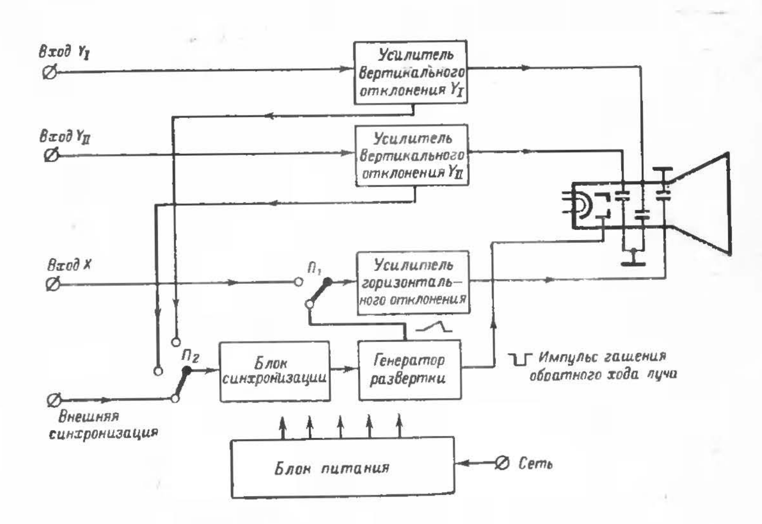


Рис. 2. Упрощенная функциональная схема двухлучевого осциллографа.

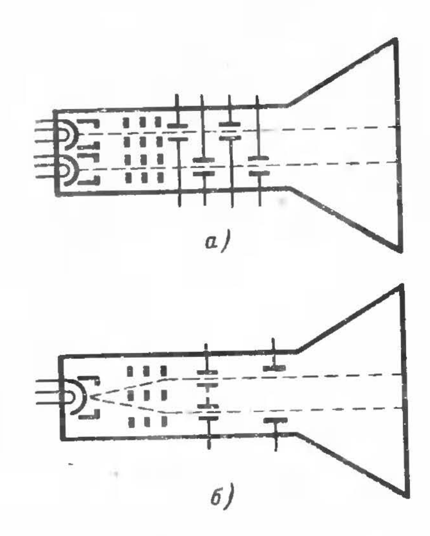


Рис. 3. Способы получения лучей в двухлучевой трубке.

а — трубка с двумя независимыми однолучевыми системами; *б* — трубка с общей выдачей луча и общими Х-пластинами.

В обеих разновидностях выполнения трубок приходится сталкиваться с одним и тем же затруднением, а именно с взаимодействием между лучами, устранить которое тем труднее, чем больше лучей. Этим и объясняется, что практическое применение получили только двухлучевые трубки.

Кроме того, двухлучевые трубки еще различают по направлению движения неотклоненного электронного луча. Наиболее употребительными с этой точки зрения являются следующие две конструкции:

неотклоненные электронные лучи движутся параллельно (рис. 4,*а*). Используемая область поверхности экрана для обоих лучей взаимно пересекается, при этом обычно средняя часть поверхности экрана может быть описана обоими лучами;

неотклоненные электронные лучи направлены в центр экрана (рис. 4,*б*), поэтому оба луча отклоняются под воздействием напряжения в одной и той же области поверхности экрана.

Рис. 4. Способы направления движения неотклоненных электронных лучей в двухлучевой трубке.

а — параллельное; *б* — к центру экрана.

Осциллографирование двухканальным осциллографом

На рис. 5 приведена блок-схема двухканального осциллографа, из которой видно, что двухканальный осциллограф отличается от обычного однолучевого осциллографа наличием электронного коммутатора и двух входных устройств. Входные устройства предназначены для согласования входного сопротивления коммутатора с выходным сопротивлением источника исследуемых сигналов, ослабления сигнала, задержки и т. д. Кроме того, входное устройство может служить и для усиления исследуемых сигналов. Назначение и роль входных устройств в осциллографах обоих типов аналогичны.

Усилители вертикального отклонения служат для усиления исследуемых сигналов. Последний каскад усилителя вертикального отклонения выполняет роль оконечного усилителя и строится по схеме парафазного усилителя.

Коммутаторы, применяемые в двухканальных однолучевых осциллографах, исследуемые сигналы обычно не усиливают, хотя в некоторых случаях могут выполнять и эту функцию. Усиление исследуемых сигналов производится усилителем вертикального отклонения осциллографа. Поэтому усилитель вертикального отклонения двухканального осциллографа конструируется на основе тех же требований, которые предъявляются к усилителю вертикального отклонения однолучевого осциллографа.

Двухканальные осциллографы имеют ряд принципиальных преимуществ перед двухлучевыми. Эти преимущества обусловлены применением однолучевой трубки и одного усилителя вертикального отклонения. Погрешности коммутатора, обусловленные неидентичностью каналов и искажениями, вносимыми каждым каналом, незначительны. Двухлучевые осциллографы вносят несколько бо́льшую погрешность в измерения из-за неидентичности усилителей вертикального отклонения и частей электроннолучевой трубки, работаю-

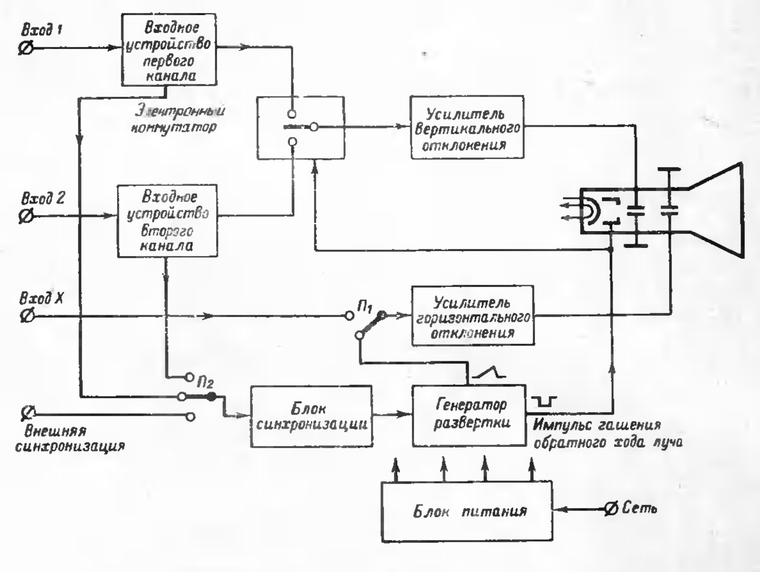


Рис. 5. Блок-схема двухканального осциллографа.

щих с соответствующим усилителем вертикального отклонения. Поэтому сравнение амплитуд двух входных напряжений двухканальным осциллографом возможно со значительно большей точностью, чем двухлучевым, так как при этом исключаются ошибки электроннолучевой трубки и усилителя вертикального отклонения. Кроме того, при использовании двухканальных осциллографов достигается более высокая точность и при временно́м сравнении двух сигналов, так как в этом случае обе осциллограммы имеют точную равную базу времени, а у двухлучевых осциллографов временны́е линии могут взаимно сдвигаться из-за разброса параметров трубки и у обоих каналов могут быть различные искажения. Следовательно, при более точных измерениях напряжений и временны́х интервалов предпочтительнее применять двухканальные осциллографы. При этом может быть достигнута погрешность измерения $<1\%$. Поэтому следует иметь в виду, что двухлучевые осциллографы наиболее целесообразно применять при осциллографировании быстрых единичных (однократных) процессов, а также в тех случаях, когда осциллограммы процесса, полученные двухканальным осциллогра-

фом, получаются прерывающимися и затрудняют наблюдение процесса. Двухканальные осциллографы применимы для наблюдения лишь медленно меняющихся единичных процессов, но при этом частота коммутации должна быть значительно выше частоты исследуемого процесса.

В практике большое значение имеют стоимостные характеристики используемых приборов и их отдельных элементов. И хотя двухлучевая трубка всегда значительно дороже, чем идентичная ей по характеристикам однолучевая, хороший двухканальный осциллограф точно так же дорог, как хороший двухлучевой осциллограф. Но двухканальные осциллографы имеют меньшие габариты и вес, чем двухлучевые.

Двухканальным осциллографам присущи следующие недостатки: а) яркость изображения сигналов снижается в 2 раза по сравнению с аналогичными двухлучевыми приборами; б) ограничена возможность исследования однократных процессов; в) отсутствует возможность исследования обоих процессов (или одного) в двух масштабах времени. Такие недостатки, как уменьшение яркости и ограничение возможности исследования однократных процессов, еще более выражаются в случае применения в осциллографе коммутатора с числом каналов больше двух, при этом особенно ухудшается яркость изображения. Однако, несмотря на указанные недостатки, двухканальные осциллографы во многих случаях заменяют двухлучевые, а в некоторых случаях являются единственным с точки зрения получения наименьшей погрешности прибором для проведения исследований. К таким случаям относится, как уже отмечалось, точное сравнение двух сигналов по временны́м параметрам и по амплитуде.

Осциллографирование нескольких процессов выбором определенной системы синхронизации

Ниже описан один из вариантов таких устройств. Так как «мертвое время» генератора развертки скоростных осциллографов довольно велико, предполагается осуществлять синхронизацию осциллографа с приходом импульсов напряжения, соответствующих либо одному, либо другому процессу попеременно. Блок-схема такого устройства для наблюдения двух процессов приведена на рис. 6,*а*, а временны́е диаграммы, поясняющие его работу, — на рис. 6,*б*. *Генератор импульсов 1* вырабатывает два отрицательных импульса u_1, причем второй задержан относительно первого на время τ. Эти импульсы, проходя *Дифференцирующую цепочку*, превращаются в две пары всплесков напряжения u_2. Всплески положительной полярности u_3 используются для запуска *Осциллографа*, а отрицательной u_5 для запуска *генератора импульсов 2*, который вырабатывает положительные импульсы, поступающие на *Объект исследования и Аттенюатор*, который служит для развязки цепей импульсов тока и напряжения, а также для регулировки амплитуды импульсов тока. Импульс напряжения с объекта исследования проходит линию задержки *ЛЗ*, представляющую собой, например, кабель с временем задержки $t_з$, а затем попадает на вход усилителя вертикального отклонения осциллографа. В результате этого импульс тока, подаваемый через *Аттенюатор*, попадает на вход осциллографа на время $t_з$ раньше, чем импульс напряжения, снимаемый с объекта исследования через *ЛЗ* (u_6). Следует отметить,

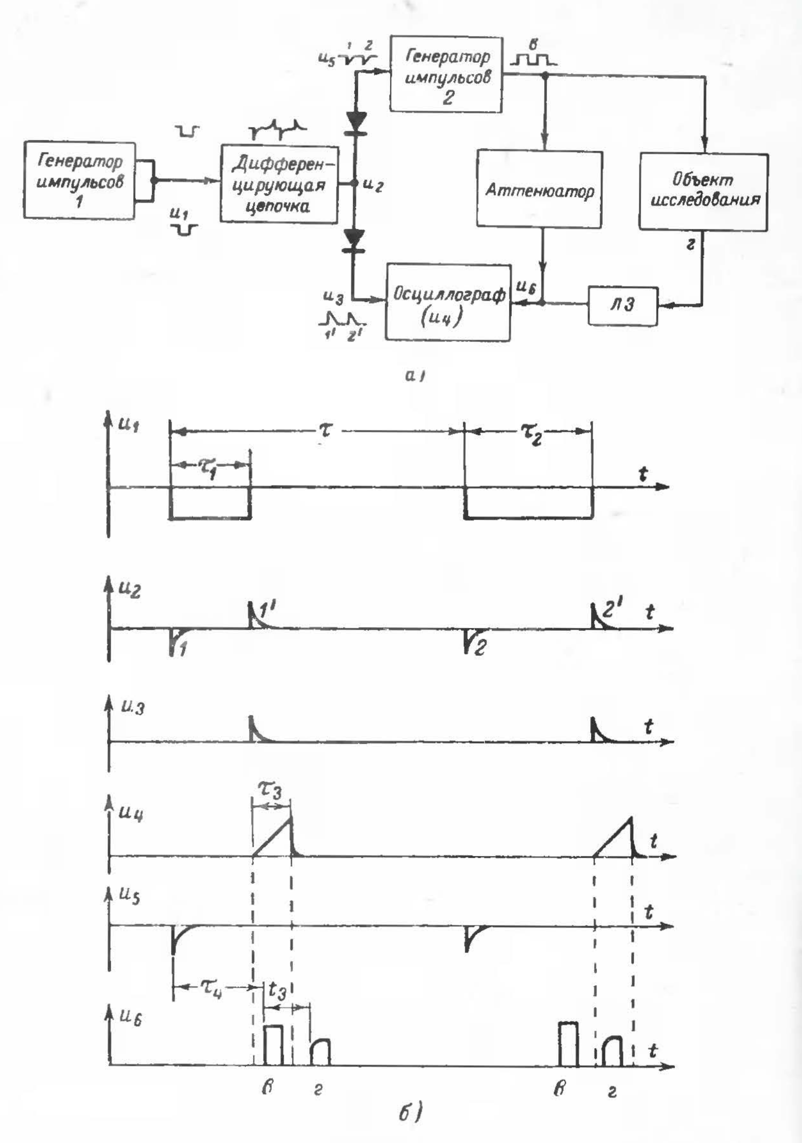


Рис. 6. Устройство для наблюдения двух процессов выбором системы синхронизации.

а — блок-схема; б — временные диаграммы; u_1 — импульсы на выходе генератора 1; u_2 — импульсы на выходе дифференцирующей цепочки; u_3 — импульсы, используемые для запуска осциллографа; u_4 — напряжение развертки осциллографа; u_5 — импульсы для запуска генератора 2; u_6 — импульсы на входе осциллографа; τ_1 и τ_2 — длительность первого и второго импульсов; τ — время задержки второго импульса относительно первого; τ_3 — длительность развертки осциллографа; τ_4 — время задержки запуска генератора 2; в — импульс тока, протекающего через образец; г — импульсы напряжения с образца.

что применение линии задержки накладывает ограничения на максимальную длительность используемых импульсов.

Задержкой запуска *Генератора 2*, а также изменением длительности импульсов *Генератора 1* можно добиться совпадения времени начала разверток осциллографа, запускаемого импульсами *1'* и *2'*, с временем прихода на осциллограф импульсов от *Генератора 2*, запускаемого импульсами *1* и *2*. Изменение длительности импульсов *Генератора 1* (при фиксированном τ_4) приводит к дискретному смещению изображений на экране осциллографа; благодаря этому можно совместить на экране импульс тока через *Объект исследования* с импульсом напряжения. Изменением амплитуды импульсов *Генератора 1* производится точное и плавное совмещение изображений. Описанная схема особенно удобна для исследования временны́х процессов малой длительности, когда необходимо одновременно наблюдать импульс тока через объект исследования и импульсы напряжения от него.

Данное устройство пригодно для одновременного наблюдения и большего числа исследуемых процессов; в этом случае необходимо использовать *Генератор 1* с числом импульсов больше двух.

Устройства для наблюдения двух и более процессов выбором определенной системы синхронизации применимы для осциллографирования только периодических процессов. Они так же, как и электронный коммутатор, дают возможность исключить погрешности, вносимые неидентичностью каналов усиления двухлучевого осциллографа.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОММУТАТОРОВ

Назначение, устройство и принцип действия коммутаторов

В общем случае коммутатор — это устройство, предназначенное для поочередного подключения различных цепей. Такое подключение производится автоматически с некоторой периодичностью. Коммутаторы находят широкое применение в различных автоматических устройствах контроля, в телеметрических системах, в измерительной технике и др. В рассматриваемом случае коммутаторы используются для одновременного наблюдения двух или более процессов на экране осциллографа. С помощью коммутатора исследуемые сигналы попеременно подаются на вход осциллографа таким образом, что на экране трубки образуются отдельные осциллограммы. Для визуального наблюдения переключение исследуемых величин необходимо производить с такой быстротой ($f_п > 25$ *гц*), чтобы чередование изображений на экране не замечалось или, по крайней мере, не мешало бы наблюдениям. Впечатлению одновременности может в значительной степени способствовать применение (если это возможно по условиям исследования) осциллографических трубок с длительным послесвечением, при использовании которых уже с помощью простейшего реле можно одновременно наблюдать два процесса.

На рис. 7 приведена обобщенная блок-схема электронного коммутатора. Из рисунка видно, что коммутатор состоит из входных устройств (число которых определяется количеством каналов), генератора коммутирующих импульсов, переключающего и выходного

устройств. Входные устройства каналов служат для согласования входов переключающего устройства с источниками исследуемых сигналов. Генератор коммутирующих импульсов вырабатывает импульсы, воздействующие на переключающее устройство. Под воздействием этих импульсов переключающее устройство поочередно (последовательно во времени) подключает входы коммутатора на вход усилителя вертикального отклонения осциллографа. Выходное устройство служит для согласования переключающего устройства

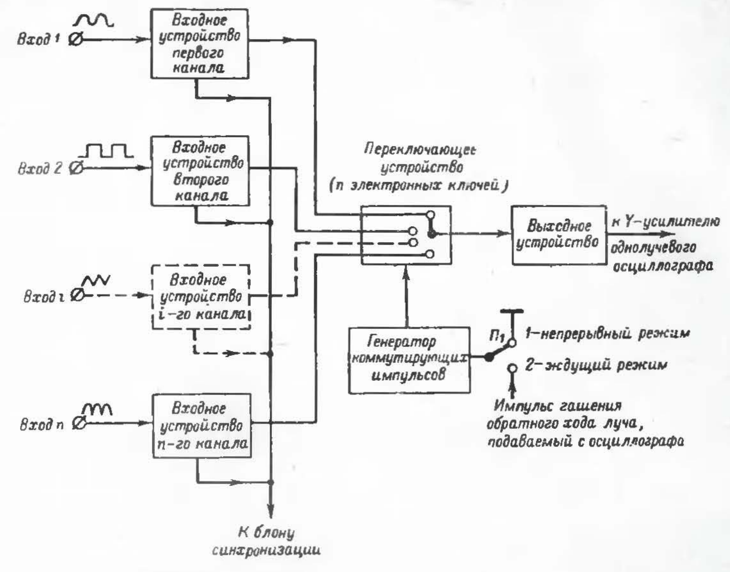


Рис. 7. Обобщенная блок-схема электронного коммутатора.

со входом осциллографа. В каждом конкретном случае тот или иной узел коммутатора может отсутствовать, но каждый коммутатор обязательно имеет переключающее устройство.

Принцип работы коммутатора наглядно поясняется эквивалентной схемой коммутатора, приведенной на рис. 8,*а*. Все каналы коммутатора работают на общую нагрузку $R_н$, сигнал с которой подается на усилитель вертикального отклонения (*Y*-усилитель) осциллографа. На вход каждого канала подается свой исследуемый сигнал. Генератор коммутирующих импульсов переключает ключи K_1, K_2, K_i, K_n таким образом, что на общей нагрузке $R_н$ в течение первого периода развертки будет выделяться и, следовательно, просматриваться на экране сигнал, подаваемый на первый вход; в течение второго периода развертки — сигнал, подаваемый на второй вход, и т. д.; в *n*-й период развертки — сигнал, подаваемый на *n*-й вход. В данном случае переключение с канала на канал происходит в момент обратного хода луча. Чтобы изображение на экране осциллографа было устойчивым, в данном случае необходимо, чтобы синхронизация напряжения развертки осуществлялась одним из исследуемых сигналов, а частоты исследуемых

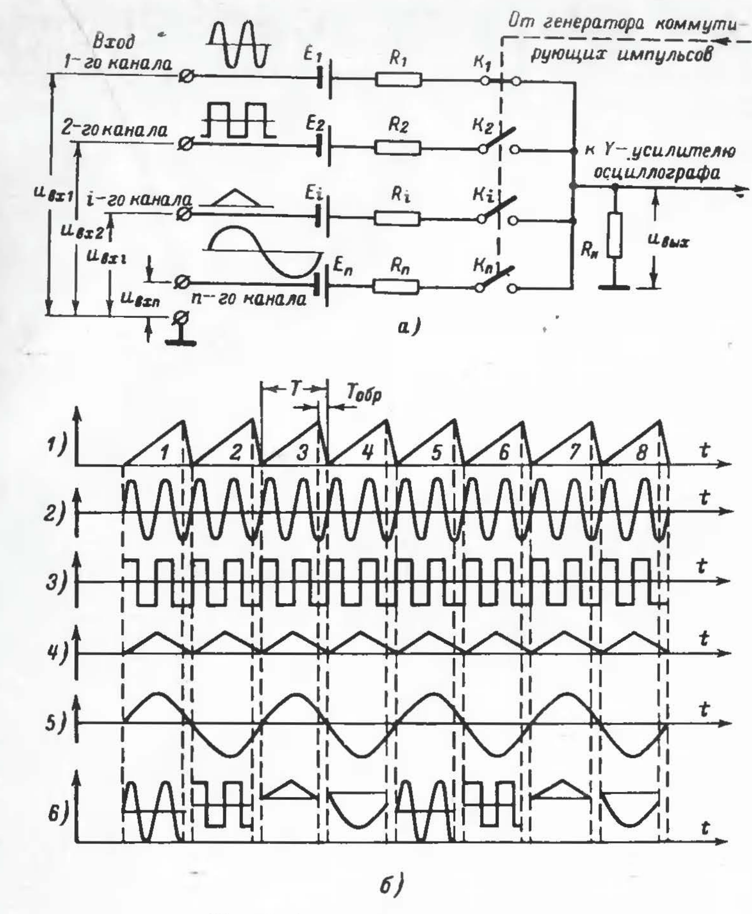


Рис. 8. Электронный коммутатор.

а — эквивалентная схема коммутатора; *б* — временные диаграммы, поясняющие ее работу; *1* — напряжение развертки осциллографа; *2, 3, 4, 5* — входное напряжение *1, 2, i* и *n*-го канала соответственно; *6* — осциллограммы сигналов на экране электроннолучевой трубки; *T* — длительность периода развертки; $T_{обр}$ — длительность обратного хода.

сигналов находились в целочисленном отношении. Для распределения осциллограмм по высоте (вдоль оси *Y*) включаются источники постоянного напряжения E_1, E_2, E_i, E_n (для эпюры *6* на рис. 8,*б* предполагалось, что $E_1<E_2<E_i<E_n$).

Конструктивно коммутаторы выполняются в виде приставки или сменного блока к осциллографу. При подключении коммутатора к осциллографу следует учитывать, какой вход имеет осциллограф (открытый или закрытый), а также иметь в виду линии связи коммутатора с осциллографом; например, подается ли с коммутатора импульс для гашения луча в момент переключения с канала

на канал или нужно подать с осциллографа напряжение развертки и т. п.

Следует особо подчеркнуть, что при использовании электронного коммутатора для осциллографирования нескольких периодических сигналов с различными частотами колебаний необходимо, чтобы эти частоты находились в целочисленном отношении, так как развертка осциллографа может быть синхронизирована только с одной из исследуемых частот. Это ограничение справедливо для электронных коммутаторов всех типов. Однако совсем не обязательно, чтобы существовало целочисленное соотношение между частотой переключений $f_п$ и частотой сигнала f_c. Более того, отсутствие такого соотношения благоприятно для полного визуального наблюдения исследуемых процессов.

Способы переключения каналов

Коммутаторы можно классифицировать по типу элементов, на которых выполнено переключающее устройство — электромеханические, электронные, электроннолучевые коммутаторы; по количеству каналов — двухканальные, многоканальные; по виду управления переключающего устройства — токовые и потенциальные и др.; и, наконец, по способам переключения каналов. Классификация по способам переключения каналов представляется нам наиболее правильной.

В настоящее время в коммутаторах используются следующие способы переключения каналов.

1. Частота переключения каналов $f_п$ выбирается ниже, чем наименьшая частота спектра исследуемых сигналов f_c. В этом случае электронный луч некоторое время выписывает несколько периодов первого исследуемого сигнала, а затем переключается на осциллографирование нескольких периодов второго исследуемого сигнала (рис. 9,*а*). Вследствие быстрого многократного повторения таких переключений обе осциллограммы будут казаться непрерывными благодаря послесвечению экрана и свойствам зрительного восприятия. На рис. 9,*б* для одного канала показано, как образуется непрерывная осциллограмма синусоиды. Изображения, получаемые в течение каждого периода развертки *1*, *2*, *3*, накладываются друг на друга, образуя непрерывную кривую *4*, яркость которой в местах наложения изображений от каждого периода будет больше, чем в тех местах, где этого наложения не происходит. При таком способе работы коммутатора желательно частоту переключения брать возможно меньшей. Однако при использовании осциллографических трубок со средним послесвечением частота переключения не должна быть меньше 50—100 *гц*, при более низких частотах становится заметным поочередное мелькание воспроизводимых кривых. При использовании трубок со значительным послесвечением частоту переключения можно выбирать и менее 50 *гц*. Для того чтобы осциллограммы казались непрерывными и не «бежали», необходимо, чтобы частота переключений и частоты сигналов не находились в целочисленном отношении, а синхронизация развертки осциллографа осуществлялась напряжением одного из исследуемых сигналов.

2. Частота переключения каналов выбирается большей, чем наивысшая частота спектра сигнала. Исследуемая кривая в этом случае воспроизводится совокупностью коротких черточек (рис. 9,*в*).

Чем сильнее различаются частоты переключения и сигнала, тем чаще следуют пунктирные отрезки, составляющие осциллограмму, тем точнее воспроизводится форма сигнала. С этой точки зрения частоту переключения следует выбирать возможно выше частоты сигнала. Рекомендуется брать $f_п = (10 \div 25) f_c$. Но увеличению частоты переключения препятствует время переключения $t_ф$, которое становится соизмеримым с временем воспроизведения процесса. При этом на осциллограмме яркость моментов переключения и изображения исследуемого сигнала становится одинаковой, а сама осциллограмма становится светлее. И хотя иногда применяют гашение луча на время переключения каналов, при больших частотах переключения осциллограммы получаются расплывчатыми.

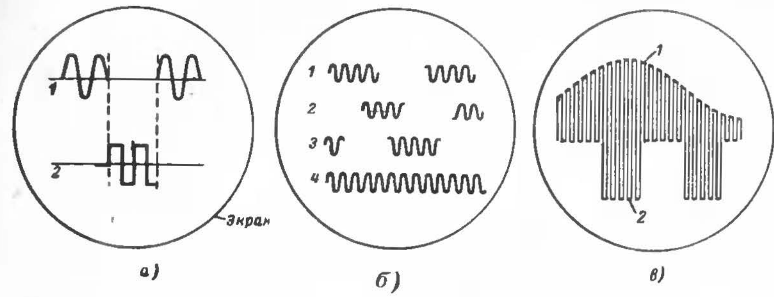


Рис. 9. Осциллограммы при различных способах переключения каналов.

а — частота переключений меньше, чем частота исследуемого сигнала ($f_п$ и f_c — синхронны): *1* — изображение исследуемого сигнала 1-го канала; *2* — изображение исследуемого сигнала 2-го канала; *б* — частота переключений меньше, чем частота исследуемого сигнала ($f_п$ и f_c не находятся в целочисленном отношении): *1*, *2*, *3* — изображения, соответствующие трем следующим друг за другом периодам развертки; *4* — изображение, наблюдаемое на экране трубки; *в* — частота переключений выше частоты исследуемых сигналов: *1* — изображение сигнала первого канала; *2* — изображение сигнала второго канала.

При таком способе работы при заданной частоте переключений накладываются ограничения на максимальную частоту исследуемых сигналов, поэтому такой способ переключения каналов обычно используется при исследованиях низкочастотных процессов.

При использовании электронных коммутаторов со вторым способом переключения каналов следует иметь в виду, что они могут успешно использоваться при более низких частотах переключений, а также то, что их применение не ограничивается исследованием сигналов, частота которых лежит ниже частоты переключений.

При этом способе переключений при частоте переключений $f_п$, кратной частоте исследуемого сигнала, изображение наблюдается в виде коротких черточек, но можно получить и непрерывное изображение. Предположим, что $f_п > f_c$ (осциллограммы изображаются совокупностью коротких отрезков) и что выполняется соотношение $df_c \neq mf_п$ (d и m — целые числа), обозначающее, что ни частота сигнала f_c и ни одна из ее гармоник df_c не равны частоте переключений $f_п$ или ее гармонике $mf_п$ (частоты не кратны); тогда при условии, что $d > m$, осциллограммы будут состоять из совокупности коротких отрезков. Причем отрезки, образующие осциллограммы, бу-

дут непрерывно перемещаться по кривым. Это обусловлено тем, что моменты переключений будут происходить в различные моменты периода исследуемого сигнала. При визуальном наблюдении перемещающиеся отрезки на экране осциллографа создают впечатление непрерывных кривых. Если окажется, что частота переключений $f_п$ случайно не удовлетворяет вышеприведенному условию и не удается получить непрерывной осциллограммы, то в схеме коммутатора необходимо предусмотреть возможность работы с другой частотой переключения $f_{п1}$, не находящейся в целочисленном соотношении с частотой $f_п$.

При обратном соотношении между частотами $f_с$ и $f_п$ ($d<m$) на каждое переключение будет приходиться несколько периодов исследуемого сигнала, тогда осциллограммы будут казаться непрерывными даже при целочисленном соотношении между $f_с$ и $f_п$. При $d<m$ коммутатор работает по первому способу переключения каналов.

Следовательно, принципиального различия между первым и вторым способами нет. Одна и та же частота переключений может быть использована для получения осциллограмм как первым (если исследуется напряжение высокой частоты), так и вторым способом (если исследуется напряжение низкой частоты). Для исследования процессов в широком диапазоне частот в коммутаторах обычно предусматривается работа на нескольких фиксированных частотах. Выбор частоты переключений некритичен. Обычно выбирают частоту в пределах от 100 *гц* до 50 *кгц*. Коммутатор должен иметь две фиксированные частоты, величины которых должны быть близки между собой и не должны находиться в целочисленном отношении. Наличие двух таких частот дает возможность всегда осуществить синхронизацию напряжения развертки с исследуемым сигналом без синхронизации с переключающим напряжением.

3. Частота переключения каналов выбирается кратной частоте развертки и определяется по формуле $f_п=f_р/n$, где $f_р$ — частота генератора развертки, n — число каналов коммутатора. В этом случае частота переключений получается переменной. Переключение каналов при таком режиме работы коммутатора происходит в момент обратного хода луча. Осциллограммы исследуемых напряжений, полученные при таком режиме работы коммутатора, приведены на рис. 8,*б*. Известно, что импульс, гасящий обратный ход луча, должен иметь достаточно крутые фронты, поэтому диапазон частот непрерывной развертки осциллографов редко превышает 500 *кгц*, так как дальнейшее увеличение частоты значительно усложняет схему осциллографа. Для переключения каналов коммутирующие импульсы, формируемые во время длительности обратного хода, также должны иметь крутые фронты, поэтому по тем же причинам частота переключений коммутатора не превышает 500 *кгц*. Простые широко распространенные осциллографы имеют диапазон частот непрерывной развертки от 20 *гц* до 100 *кгц*. На такой же диапазон частот переключений и строят обычно коммутаторы с переключением каналов в момент обратного хода луча.

Основные узлы коммутаторов

Входные устройства. Входные устройства предназначены для согласования входов коммутатора с источниками исследуемых напряжений. Они должны удовлетворять следующим требованиям:

в необходимой степени ослаблять или усиливать исследуемый сигнал с заданной точностью; иметь большое входное сопротивление и малую входную емкость, чтобы не нагружать источник исследуемых сигналов и не искажать исследуемые сигналы; иметь широкую полосу пропускания, малые нелинейные, частотные и фазовые искажения; характеристики входного устройства должны быть стабильными и др.

Чаще всего необходимо согласовывать сопротивления и диапазон входных сигналов. При согласовании сопротивлений коммутатора и источника исследуемых сигналов входное устройство выполняется по схеме катодного (рис. 10,*а*) или эмиттерного повторителя (рис. 10,*б*, *в*). Катодный повторитель представляет собой «трансформатор сопротивлений» — напряжения на его входе и выходе равны (или близки по величине), а его выходное сопротивление много меньше входного.

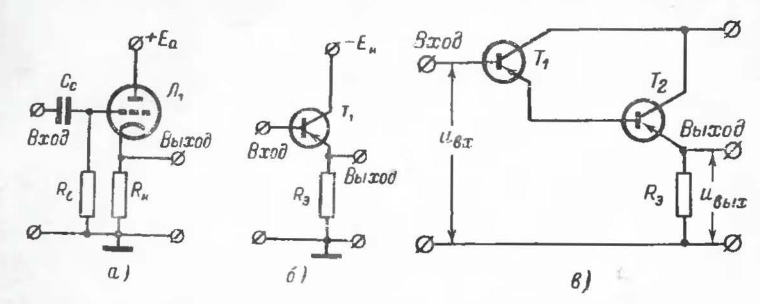


Рис. 10. Входные устройства для согласования сопротивлений коммутатора и источника исследуемых сигналов.

а — катодный повторитель; *б* — эмиттерный повторитель; *в* — составной эмиттерный повторитель.

Эмиттерный повторитель (рис. 10,*б*) использует включение триода по схеме с общим коллектором и подобно ламповому аналогу не дает усиления по напряжению и не изменяет фазу входного сигнала. Однако, несмотря на качественное сходство, эмиттерный повторитель существенно отличается от катодного повторителя. Эмиттерные повторители имеют $R_{вых}=10\div500$ *ом*, $R_{вх}=10\div500$ *ком*, $K_u=0{,}9\div0{,}95$.

Очень часто для увеличения входного сопротивления применяют составные эмиттерные повторители (рис. 10,*в*). Известно, что в составном триоде коэффициент усиления по току $\beta_{общ}$ может быть очень большим, так как $\beta_{общ}\approx\beta_1\beta_2$, где β_1, β_2 — коэффициенты усиления по току соответственно первого и второго транзисторов. Но это не значит, что у составного эмиттерного повторителя входное сопротивление также возрастает во много раз. Величина $R_{вх}$ у составного эмиттерного повторителя может быть получена в 5—10 раз больше, чем у обычного эмиттерного повторителя (при одинаковой нагрузке). Кроме того, коэффициент передачи в составном повторителе намного ближе к единице ($K_u>0{,}99$), чем в простом, из-за большой величины $\beta_{общ}$. В схемах составных эмиттерных повторителей целесообразнее применять кремниевые транзисторы, параметры которых меньше подвержены влиянию температуры. Для получения большого

входного сопротивления первый транзистор составного эмиттерного повторителя должен обладать достаточно высоким усилением при работе на очень маленьких токах.

К достоинствам катодного (эмиттерного) повторителя следует отнести также большой динамический диапазон входных сигналов и малую входную емкость.

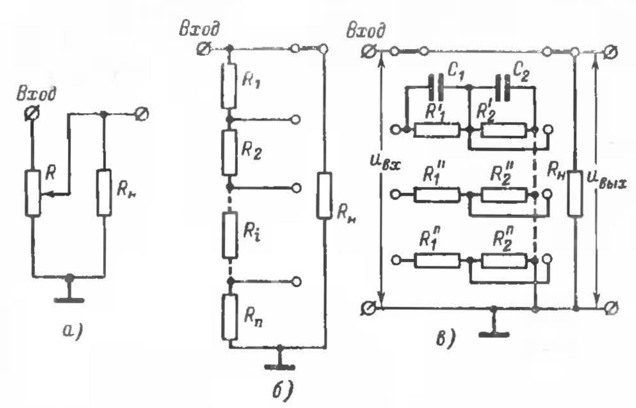


Рис. 11. Схемы делителей напряжения.

а, б — на активных сопротивлениях; *в* — частотно-компенсированный.

При осциллографировании больших напряжений входное устройство представляет собой делитель напряжения, выполненный на активных сопротивлениях (рис. 11,*а*, *б*), или частотно-компенсированный делитель (рис. 11,*в*). Если нагрузкой многоступенчатого делителя (рис. 11,*б*) пренебречь $\left(R_н \gg \sum_{i=1}^{b} R_i\right)$, то его расчет не представляет затруднений. Любое сопротивление R многоступенчатого делителя может быть вычислено, если задать величину полного сопротивления делителя $\sum_{i=1}^{b} R_i$, по формуле

$$R = \sum_{i=1}^{b} R_i \frac{a-1}{a^{b-i-1}},$$

где a — коэффициент, определяющий соотношение напряжений двух смежных пределов делителя; b — число пределов. Относительная погрешность коэффициента ослабления делителя δ за счет нестабильности сопротивлений

$$\delta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}\left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2}\right),$$

где ΔR_1 и ΔR_2 — нестабильность первого и второго сопротивлений.

416—1

Если нагрузкой делителя является лампа, то условие $R_н > \sum_{i=1}^{b} R_i$ почти всегда выполняется, так как $R_{вх}$ ламповых каскадов велико (0,5—10 *Мом*). Если же нагрузкой делителя является транзистор, это условие выполнить значительно труднее и делитель оказывается нагруженным на соизмеримое с ним сопротивление. В этом случае возникает дополнительная погрешность $\delta_{доп} = 0,15\frac{\sum_{i=1}^{b} R_i}{R_н}$.

Настройка многоступенчатого делителя затрудняется тем обстоятельством, что любое изменение, внесенное при подгонке любого предела делителя, влечет за собой изменение соотношений делителя на других пределах.

Часто целесообразнее использовать схему делителя, где для каждого предела измерения предусматривается отдельный делитель напряжения (рис. 11,*в*). Суммарное сопротивление делителей R_Σ на всех пределах может быть легко сделано постоянным с высокой степенью точности. Сопротивления такого делителя с учетом $R_н$ можно определить по следующим формулам:

$$R_1^i = R_\Sigma\left(1 - \frac{1}{K}\right); \quad R_2^i = \frac{R_\Sigma R_н}{K R_н - R_\Sigma},$$

где R_1^i и R^i — величины сопротивлений i-го делителя; $R_\Sigma = R_1^i + R_2^i$, $K = u_{вх}/u_{вых}$ — величина необходимого ослабления.

Другой особенностью этой схемы переключения пределов является возможность осуществления точной коррекции частотных погрешностей в широком диапазоне частот. Частотная погрешность делителя из активных сопротивлений обусловлена зависимостью коэффициента деления от частоты в результате шунтирования сопротивлений паразитными емкостями. Для уменьшения частотной погрешности включают конденсаторы C_1 и C_2 (на рис. 11,*в* частотная компенсация осуществляется только на первом пределе). Коэффициент деления K на переменном токе

$$\dot{K} = \frac{R'_1}{\frac{R'_1(1 + j\omega\tau_2)}{(1 + j\omega\tau_1)} + R'_2},$$

где $\tau_1 = R'_1 C_1$; $\tau_2 = R'_2 C_2$, ω — круговая частота. Отсюда условие, при выполнении которого коэффициент деления не зависит от частоты, $\tau_1 = \tau_2$; $R'_1 C_1 = C_2 R'_2$.

При осциллографировании небольших напряжений входное устройство выполняется в виде усилителя. Усилители входного устройства коммутатора — это измерительные усилители, которые должны иметь малые частотные, нелинейные и фазовые искажения, стабильный коэффициент усиления. Этим требованиям в настоящее время лучше удовлетворяют ламповые усилители. Коэффициент уси-

ления многокаскадного RC-усилителя без применения специальных мер изменяется на 20—30% и зависит от изменения параметров элементов схемы (R, C, ламп, источников питания и др.) под воздействием внешних факторов и старения элементов. Для стабилизации коэффициента усиления применяют отрицательную обратную связь, которая уменьшает также нелинейные и фазовые искажения. Нестабильность коэффициента усиления при применении отрицательной обратной связи уменьшается в $(1+K_0\beta)$ раз, где K_0 — коэффициент усиления усилителя без отрицательной обратной связи, $\beta = u_{\text{о.с}}/u_{\text{вых}}$ — коэффициент обратной связи. В высококачественных измерительных усилителях изменение коэффициента усиления составляет 0,1—0,5%. Для улучшения частотной характеристики усилителей применяют схемы для коррекции характеристики в области высоких и низких частот.

Если коммутатор выполняется как приставка к осциллографу, то входное устройство выполняется по простой схеме однокаскадного усилителя или катодного (эмиттерного) повторителя, в виде делителя напряжения или отсутствует вообще. В коммутаторах, которые являются составной частью осциллографа, входные устройства выполняются по сложной схеме, так как они рассчитаны для работы в широком диапазоне входных сигналов по амплитуде и частоте. В этом случае коммутатор выполняется в виде сменного блока осциллографа. Входное устройство коммутатора в этом случае выполняет роль предварительного усилителя Y-усилителя осциллографа, оконечный каскад которого располагается в корпусе осциллографа и содержит фазоинверсный и выходной, собранный по двухтактной схеме, каскады.

Примером коммутатора, выполненного в виде сменного блока к осциллографу, может служить предусилитель—коммутатор типа С1-15/3, который предназначен для совместной работы с осциллографами С1-15 и С1-17. В дальнейшем на примере серийно выпускаемого коммутатора С1-15/3 рассматривается работа основных узлов коммутатора. Блок-схема коммутатора С1-15/3 приведена на рис. 12,*а*, принципиальная электрическая схема — на рис. 13,*а*, *б*, *в*. Входное устройство каждого канала включает блоки *1* и *2*. Блок канала *А* (канала *Б*) представляет собой частотно-компенсированный делитель (рис. 14), который имеет постоянные $R_{\text{вх}} = 500$ *ком* и $C_{\text{вх}} = 40$ *пф* во всех положениях. Постоянство входной емкости достигается подстройкой конденсаторов C_1—C_4, C_{14}—C_{16}. Подстройка частотной компенсации делителей осуществляется конденсаторами C_7—C_{13}. Ручки переключения входных делителей выведены на переднюю панель. Связь переключателя входного делителя с входным гнездом $Г_1$ ($Г_2$) может быть гальванической или емкостной. Переключение входа осуществляется переключателем входа $П_1$ ($П_2$), вынесенным на переднюю панель.

В катодном повторителе [блоки *2А* (*2Б*), $Л_2$ ($Л_1$)] осуществляется регулировка усиления входного сигнала. Резисторы R_8 (R_2) служат для ограничения сеточных токов, возможных при случайной подаче на вход больших положительных сигналов. Плавная регулировка усиления осуществляется изменением амплитуды сигнала, снимаемого с потенциометра $R_9(R_{10})$, служащего нагрузкой катодного повторителя.

Регулировка усиления выведена на переднюю панель. Для того чтобы ручка *Усиление* не смещала луч по экрану, надо, чтобы потенциал любой точки потенциометра $R_9(R_{10})$ был одинаков (при отсут-

ствии входного сигнала). Это достигается подключением второго вывода потенциометра к точке с потенциалом, равным потенциалу катода катодного повторителя. Источник компенсирующего напряжения должен быть стабильным. Из-за возможного изменения тока катодного повторителя или плохой стабилизации источника компенсирующего напряжения возможен разбаланс схемы, т. е. появление тока через потенциометр плавной регулировки усиления. Это ведет к смещению луча по вертикали при плавной регулировке усиления. Для восстановления режима вводится балансировка каскада по по-

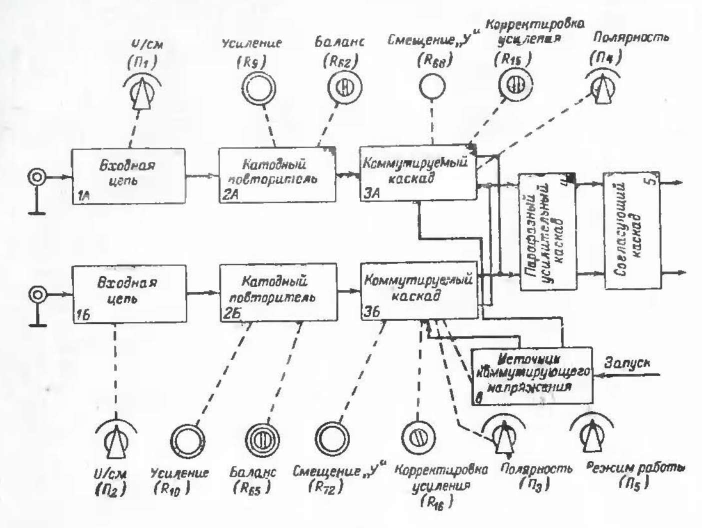
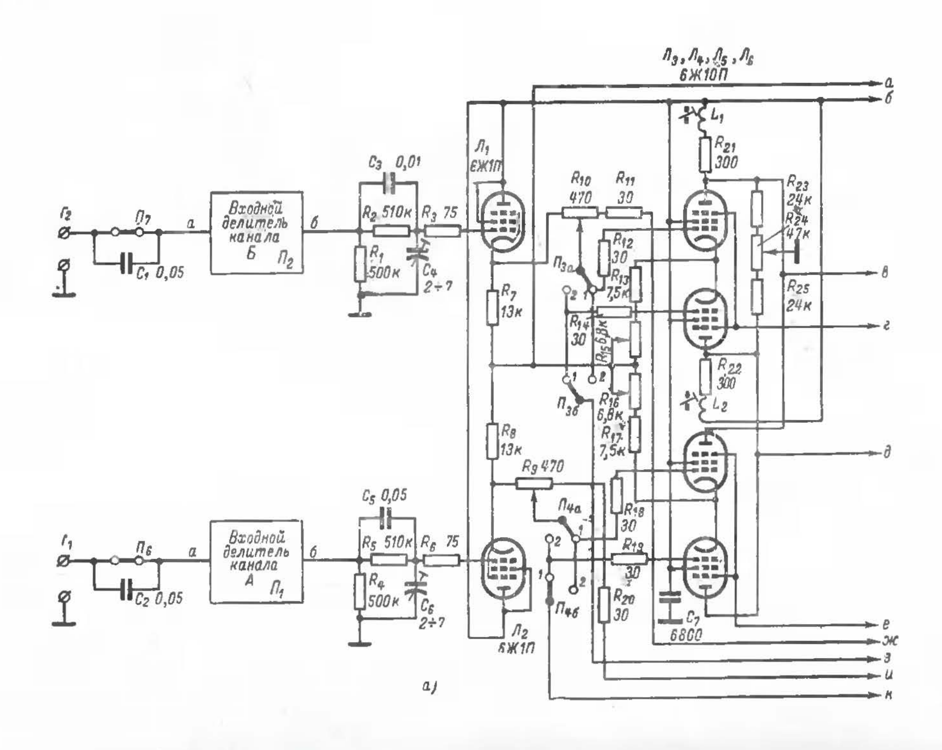


Рис. 12. Блок-схема коммутатора С1-15/3.

стоянному току потенциометром $R_{62}(R_{65})$, изменяющим величину компенсирующего напряжения.

Генераторы коммутирующих импульсов. Генераторы коммутирующих импульсов предназначены для создания периодической последовательности управляющих импульсов, которые, воздействуя на ключевые схемы переключающего устройства, осуществляют поочередное подключение каналов. Переключение каналов наиболее просто осуществляется прямоугольными импульсами с относительно крутыми фронтами, поэтому в качестве генераторов коммутирующих импульсов в коммутаторах используются, как правило, релаксационные генераторы (одновибраторы, мультивибраторы, триггеры). Генераторы других типов используются лишь для запуска оконечных каскадов, выполняемых обычно по схеме мультивибратора или триггера. Иногда для запуска многофазного мультивибратора, вырабатывающего переключающие импульсы, используется LC-генератор синусоидальных колебаний с кварцевой стабилизацией, импульсы с которого подаются на многофазный мультивибратор через формирующее устройство. Формирующее устройство служит для получения из синусоидального напряжения напряжения прямоугольной формы. Оно



а)

№	Наименование
4	+100 в
19	+200 в
10	Сигнал
17	+12,6 в
3	−100 в
16	+12,6 в
6	
2	
7	
9	
11	
12	+300 в
13	~6,3 в
14	~6,3 в
5	
20	
8	−300 в
1	Сигнал
15	
18	Запуск

б)

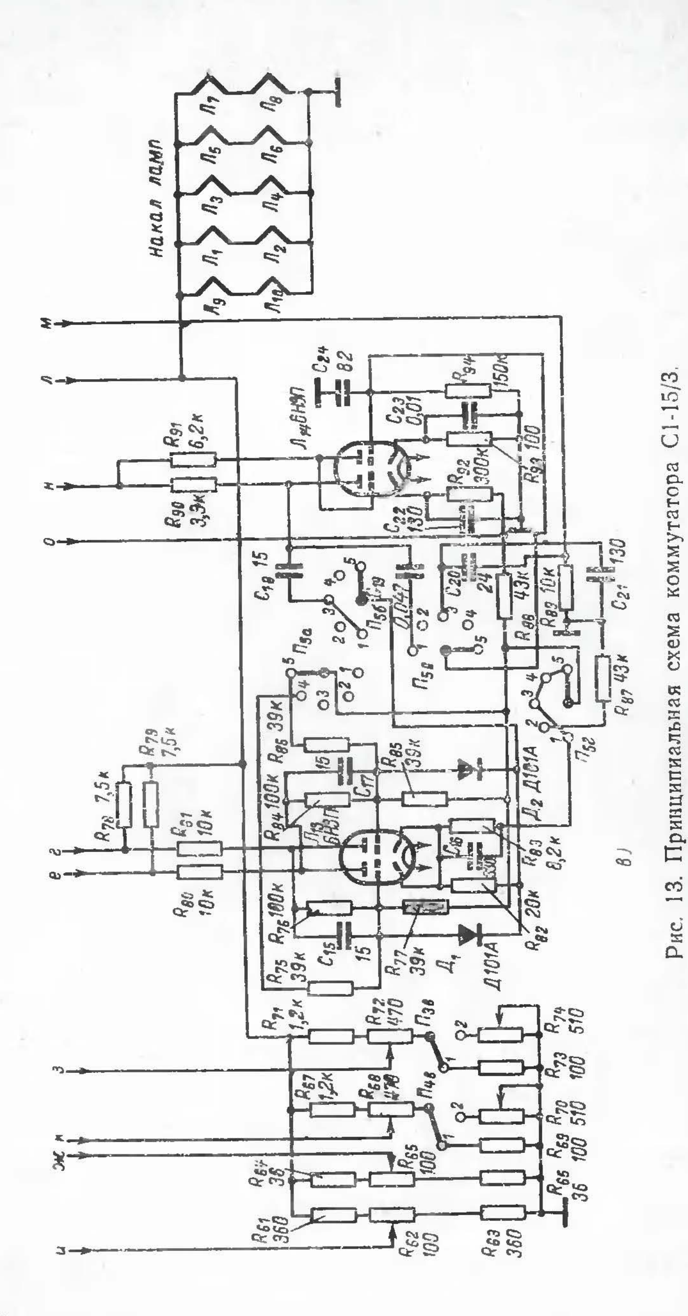


Рис. 13. Принципиальная схема коммутатора С1-15/3.

выполняется по схеме усилителя-ограничителя или ограничителя, собранного, например, на стабилитронах, если переключающие импульсы формируются из напряжения сети. С формирующего устройства импульсы подаются на переключающее устройство непо-

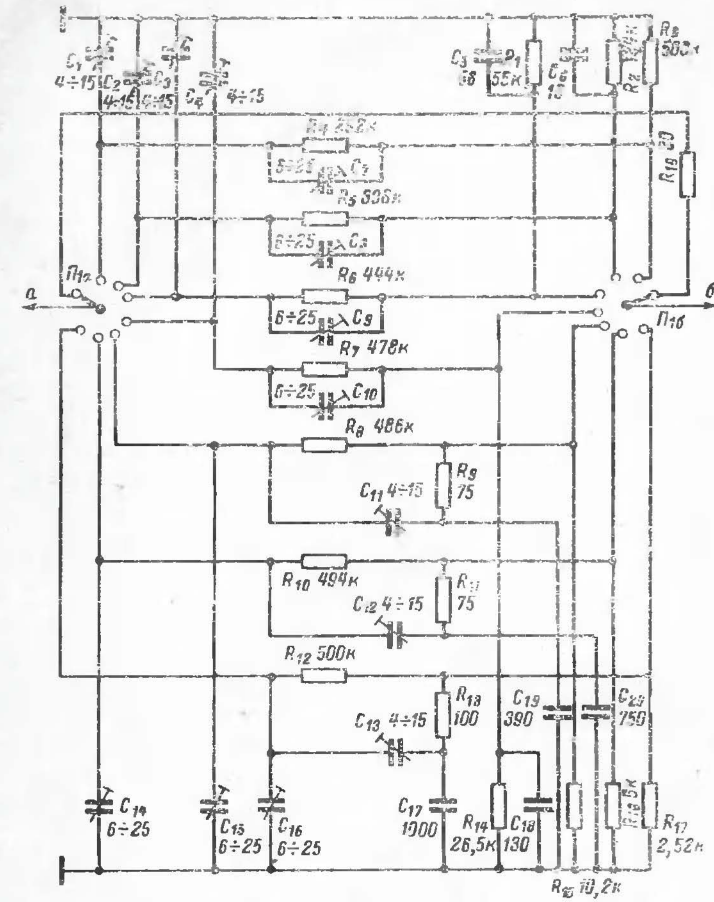


Рис. 14. Принципиальная схема входного делителя коммутатора С1-15/3.

средственно или служат для запуска оконечного каскада генератора коммутирующих импульсов.

К генераторам коммутирующих импульсов предъявляются следующие требования: генерирование колебаний требуемой частоты с заданной стабильностью; фронт переключающих импульсов должен быть достаточно крутым; равенство полупериодов генерируемых импульсов; переключающие импульсы должны иметь амплитуду и полярность, необходимые для нормальной работы переключающего

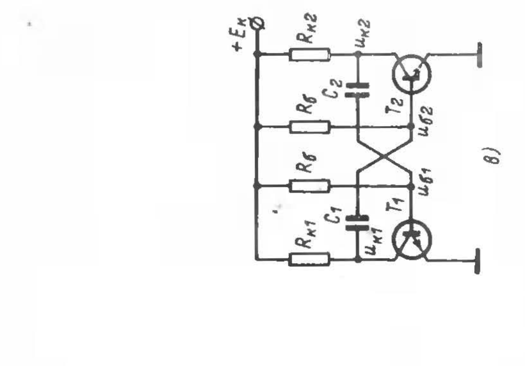
устройства; возможность их запуска от источника внешней синхронизации; выдача, кроме переключающих импульсов, стробирующих импульсов для гашения луча в момент переключения каналов; необходимость регулировки частоты в небольших пределах и др.

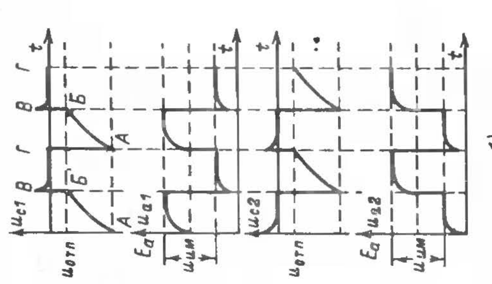
Указанным требованиям удовлетворяют мультивибраторы и триггеры; для запуска последних используются как мультивибраторы, так и генераторы других типов. На рис. 15,*а*, *в* приведены схемы мультивибраторов, выполненные на электронных лампах и полупроводниковых приборах. Мультивибратор представляет собой двухкаскадный усилитель на сопротивлениях, напряжение с выхода которого подается на его вход. В коммутаторах применяются симметричные мультивибраторы ($R_{a1}=R_{a2}=R$, $C_1=C_2=C$), так как время подключения каналов к осциллографу должно быть одинаковым. Схема работает следующим образом. Пусть анодный ток лампы $Л_1$ вследствие флюктуации его величины несколько возрастет, тогда напряжение на аноде $Л_1$ несколько уменьшится. Этот отрицательный перепад напряжения через C_1 подается на сетку лампы $Л_2$. Анодный ток $Л_2$ уменьшается, а напряжение на аноде $Л_2$ увеличится. Положительный перепад напряжения с анода лампы $Л_2$ подается на сетку $Л_1$, поэтому анодный ток $Л_1$ еще больше увеличится. В результате этого $Л_2$ быстро запирается, а $Л_1$ отпирается (первое состояние схемы). Но это состояние схемы неустойчиво. Пока $Л_2$ остается запертой, скорость изменения потенциала ее сетки определяется постоянной времени переходной цепи ($\tau=R_cC_c$). Когда потенциал сетки $Л_2$ достигает напряжения отпирания лампы, через $Л_2$ начинает течь ток. Напряжение на аноде $Л_2$ и сетке $Л_1$ уменьшается, что приводит к возрастанию напряжений на аноде $Л_1$ и сетке $Л_2$, поэтому $Л_2$ отпирается, а $Л_1$ запирается (второе состояние схемы). После этого начинается медленное восстановление потенциала сетки $Л_1$, эта лампа отпирается и схема возвращается в первое состояние и т. д. Таким образом, схема мультивибратора не имеет ни одного положения устойчивого состояния и для приведения ее в колебательный режим не нужно внешнего воздействия. Диаграммы напряжений на электродах ламп мультивибратора приведены на рис. 15,*б*. На участке *АБ* лампа $Л_1$ заперта, $Л_2$ отперта. Конденсатор C_2, заряженный ранее, разряжается через лампу $Л_2$. Ток разряда этого конденсатора создает отрицательное запирающее напряжение на сетке $Л_1$. В точке *Б*, соответствующей напряжению отпирания лампы ($u_{отп}$), $Л_1$ начинает проводить ток. Процессы, описанные выше, приводят к скачкообразному отпиранию $Л_1$ и запиранию $Л_2$ (участок *БВ*). После точки *В* конденсатор C_2 начинает заряжаться от источника питания E_a через R_{a2} и $r_{c.к1}$ — сопротивление участка сетка — катод открытой лампы $Л_1$, параллельно которому включено R_{c1} ($R_{c1} \gg r_{c.к1}$). В точке *Г* вновь возникает скачок напряжения, так как в этот момент открывается $Л_2$.

Схема и принцип работы транзисторного мультивибратора (рис. 15,*в*) аналогичны ламповому мультивибратору. Однако транзисторные мультивибраторы имеют специфику, обусловленную различием физики работы электронных ламп и транзисторов.

Сведения о расчете параметров ламповых и транзисторных мультивибраторов, о способах регулировки частоты и увеличения крутизны фронта можно найти в [Л. 3—5].

В схеме коммутаторов нашли применение и мультивибраторы Ройера (рис. 16). Основным узлом схемы является трансформатор с сердечником, имеющим прямоугольную петлю гистерезиса. Сердеч-





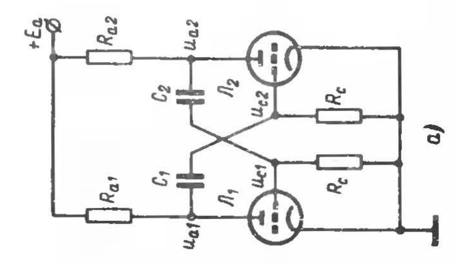


Рис. 15. Схемы мультивибраторов, применяемых в коммутаторах.
а — схема на электронных лампах; *б* — временные диаграммы, поясняющие работу лампового мультивибратора; *в* — схема на транзисторах.

ник трансформатора изготовляют из пермаллоя или используют ферритовые кольца. Схема работает следующим образом. При подаче на вход напряжения в силу неидентичности характеристик транзисторов ток коллектора одного из них (например, T_1) будет больше, чем у другого (T_2). Магнитный поток в сердечнике с изменением токов также изменяется. Обмотки w_2 включены так, чтобы на базе T_1 наводился отрицательный потенциал, а на базе T_2 — положительный потенциал. Это приводит к дальнейшему увеличению коллекторного тока транзистора T_1 и уменьшению тока транзисто-

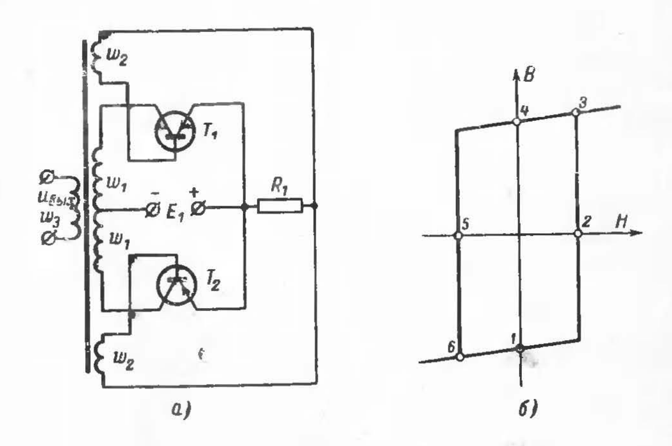


Рис. 16. Схема мультивибратора Ройера.

ра T_2; в результате транзистор T_1 полностью отпирается, а транзистор T_2 запирается. При этом сердечник трансформатора перемагничивается по ветви *1—2—3* петли гистерезиса (рис. 16,*б*). Когда индукция В в сердечнике достигает величины, соответствующей точке *3* на кривой намагничивания, э. д. с., наводимые в обмотках w_2, резко уменьшаются. Ток транзистора T_1 падает, а ток T_2 растет, и в обмотках w_2 наводится э. д. с. обратного знака. В результате транзистор T_1 запирается, а T_2 отпирается. Происходит процесс перемагничивания по ветви *4—5—6* петли гистерезиса, пока индукция В в сердечнике не достигает величины, соответствующей точке *6*. Далее процесс повторяется периодически.

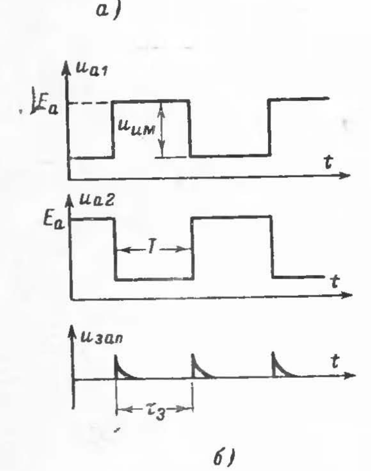
Скорость изменения потока в сердечнике определяется разностным соединением обмоток, от этого же зависит и частота генерации.

Стабильность частоты у мультивибраторов оказывается несколько хуже, чем у автогенераторов, имеющих в схеме резонансные элементы; поэтому для уменьшения нестабильности частоты используют работу мультивибраторов в режиме синхронизации. В этих случаях внешние синхроимпульсы, подаваемые в схему генератора, навязывают ему свою более стабильную частоту колебаний.

Если необходимо связать частоту переключений с каким-либо внешним сигналом, то в качестве генератора коммутирующих импульсов двухканального коммутатора вместо мультивибратора мож-

но применить триггер, который легко синхронизируется от внешнего источника в широком диапазоне частот. На рис. 17,*а*, *в* приведены схемы триггеров на электронных лампах и транзисторах. Триггер — устройство с двумя устойчивыми состояниями. В схеме триггера, находящегося в равновесии, обязательно одна лампа (транзистор) отперта, а другая заперта. Импульс запуска запертую лампу (транзистор) отпирает, а отпертую лампу (транзистор) запирает. Таким образом, возникает новое состояние равновесия (рис. 17,*б*). Импульсы, снимаемые с триггера, имеют длительность *T*, равную периоду следования запускающих импульсов. Параметры схемы триггера на эту длительность влияния не оказывают.

Генератор коммутирующих импульсов коммутатора С1-15/3, схема которого приведена на рис. 13,*а*, *б*, *в*, собран на лампах $Л_{13}$, $Л_{14}$. На лампе $Л_{13}$ собран триггер с двумя устойчивыми состояниями. Режим питания и величины анодных нагрузок выбраны так, чтобы положительный импульс, отпирающий каскады переключающе-



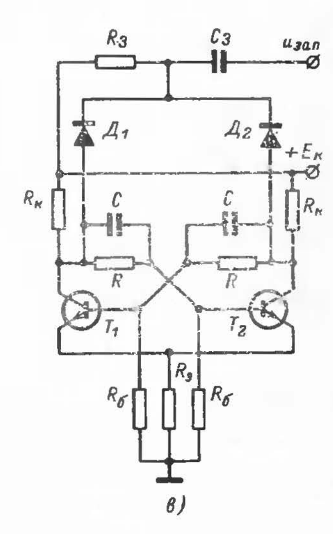


Рис. 17. Схема триггеров.

а — схема на электронных лампах; *б* — временные диаграммы, поясняющие работу триггера на лампах; *в* — схема на транзисторах.

го устройства, создавал на их третьих сетках (блоки *3А* и *3Б*) нулевые потенциалы относительно катодов, а отрицательный импульс надежно запирал каскады переключающего устройства по третьим сет-

кам. На лампе $Л_{14}$ собран мультивибратор, выдающий импульсы с частотой 50 *кгц* в режиме ~50 *кгц*. В режиме *Синхр.* лампа $Л_{14}$ является усилителем импульсов, поступающих с развертки осциллографа для запуска триггера. Переключателем $П_5$ *Реж. работы*, выведенным на переднюю панель, осуществляется переключение режимов триггера и мультивибратора, задающих режимы работы коммутатора.

Переключающие устройства. Переключающее устройство является основным узлом коммутатора, определяющим его технические характеристики. Оно предназначено для поочередного подключения входов коммутатора на его выход. На выходе коммутатора входные сигналы должны появляться один за другим последовательно во времени. Переключающие устройства должны удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать поочередное переключение каналов; коммутировать исследуемые сигналы в широком диапазоне частот и амплитуд с заданной точностью; иметь незначительное время перехода с канала на канал; иметь минимальное влияние закрытых для прохождения сигнала каналов на открытый канал; иметь минимальное влияние переключающих импульсов на вход и выход коммутатора; предусматривать возможность перемещения изображений относительно друг друга. Как следует из рис. 8,*а*, основой переключающих устройств коммутатора являются ключи. Количество ключей в коммутаторе определяется схемой коммутатора и обычно равно числу каналов коммутатора (или больше числа каналов). Ключи, применяемые в коммутаторе, — это измерительные ключи; они не только коммутируют необходимые цепи, но через них передаются исследуемые сигналы, поэтому они должны быть построены таким образом, чтобы сигналы не искажались. В ряде случаев ключи не только коммутируют, но и усиливают исследуемые сигналы. В этих случаях к ключам предъявляются дополнительные требования как к усилительному каскаду. Расчет переключающего устройства в этом случае подобен расчету обычного усилительного каскада. От переключающего устройства, построенного на ключах с усилением исследуемого сигнала, как правило, не требуется большого коэффициента усиления. Расчет состоит в определении величины общей нагрузки $R_н$ из заданных частотных искажений на высших частотах и амплитуды переключающих импульсов.

Измерительные ключи, применяемые в коммутаторах, должны иметь малое переходное сопротивление контактной пары в замкнутом состоянии и большое в разомкнутом, высокую стабильность этих сопротивлений во времени, малую паразитную э. д. с., пропускать через контактную пару значительные токи (напряжения); они должны иметь небольшие габариты, вес и высокую надежность. Характеристики ключа в основном определяют характеристики переключающего устройства в целом.

Хорошо известно, что ключи можно выполнить на различных элементах: электромеханических реле, электронных лампах, полупроводниковых приборах. магнитных элементах и т. д.

В зависимости от выбора коммутирующих элементов (ключей) переключающие устройства подразделяются на электромеханические, электронные и электроннолучевые специальной конструкции.

Электромеханические переключающие устройства. В качестве коммутирующих элементов в них используются электромагнитные реле, шаговые искатели, коллекторные устройства и другие электромеханические контактные прерыватели. Такие переключающие устройства имеют два существенных недостатка — низкую надежность и низкую частоту переключений, которая затрудняет получение качественного изображения исследуемых сигналов. К достоинствам электромеханических переключающих устройств следует отнести малое сопротивление в замкнутом состоянии и большое — в разомкнутом; стабильность этих сопротивлений; коммутирование с помощью одного реле большого числа цепей; развязку цепей управления и коммутации.

Коммутаторы с электромеханическими переключающими устройствами должны использоваться с осциллографами, у которых трубки имеют значительное послесвечение.

Электронные переключающие устройства. В качестве коммутирующих элементов в них используются бесконтактные элементы: электронные лампы и полупроводниковые приборы. Бесконтактные переключающие устройства обладают бо́льшими, чем контактные переключающие устройства, сроком службы и скоростью переключения (10^5 и более переключений в 1 *сек*), пониженной чувствительностью к вибрациям, меньшим потреблением энергии для переключения, меньшими габаритами и весом. Электронные переключающие устройства могут быть выполнены на активных и пассивных элементах.

Переключающие устройства на активных элементах. Основной особенностью этих переключающих устройств является возможность не только коммутировать, но и усиливать исследуемые сигналы. Они выполняются в основном на электронных лампах и транзисторах. Принцип их работы заключается в поочередном запирании одной из ламп (транзистора), работающих на общую нагрузку. Запирание ламп может происходить по любому электроду. Возможна коммутация по аноду (рис. 18,*а*), по катоду (рис. 18,*б*), по экранной сетке (рис. 18,*в*), по управляющей сетке (рис. 18,*г*) и антидинатронной сетке (рис. 18,*д*).

При управлении по аноду аноды ламп $Л_1$ и $Л_2$ через диоды $Д_1$ и $Д_2$ поочередно подключаются к общей нагрузке $R_н$. Через сопротивление R_1 на аноды ламп в противофазе подаются переключающие импульсы; исследуемые напряжения подаются на управляющие сетки ламп. При полярности переключающих импульсов, указанной на рис. 18,*а*, диод $Д_1$ проводит, его сопротивление равно нулю и анод $Л_1$ соединен с $R_н$. В этот полупериод на нагрузке выделяется сигнал, подаваемый на управляющую сетку $Л_1$. Диод $Д_2$ заперт, его сопротивление равно бесконечности, и анод $Л_2$ отключен от $R_н$. Переключающие импульсы, кроме того, поочередно запирают и отпирают лампы. Когда на анод лампы подан импульс положительной полярности, лампа отперта и через нее течет ток; если подан отрицательный импульс, лампа заперта. В следующий полупериод полярность переключающих импульсов изменится и на $R_н$ выделится сигнал, подаваемый на сетку $Л_2$.

При управлении по катоду поочередное запирание и отпирание ламп происходит следующим образом. Переключающие импульсы подаются в противофазе на катоды ламп переключающего устройства; исследуемые сигналы подаются на управляющие сетки ламп. При полярности импульсов, указанной на рис. 18,*б*, лампа $Л_2$ отперта и на нагрузке $R_н$ выделяется сигнал, подаваемый на сетку $Л_2$; $Л_1$ заперта и сигнал, подаваемый на сетку $Л_1$, не выделяется на $R_н$. В следующий полупериод будет заперта $Л_2$, а $Л_1$ отперта и т. д.

Электронные лампы работают при сравнительно больших напряжениях на аноде и экранной сетке. Поэтому для коммутации по аноду и экранной сетке необходим генератор коммутирующих импуль-

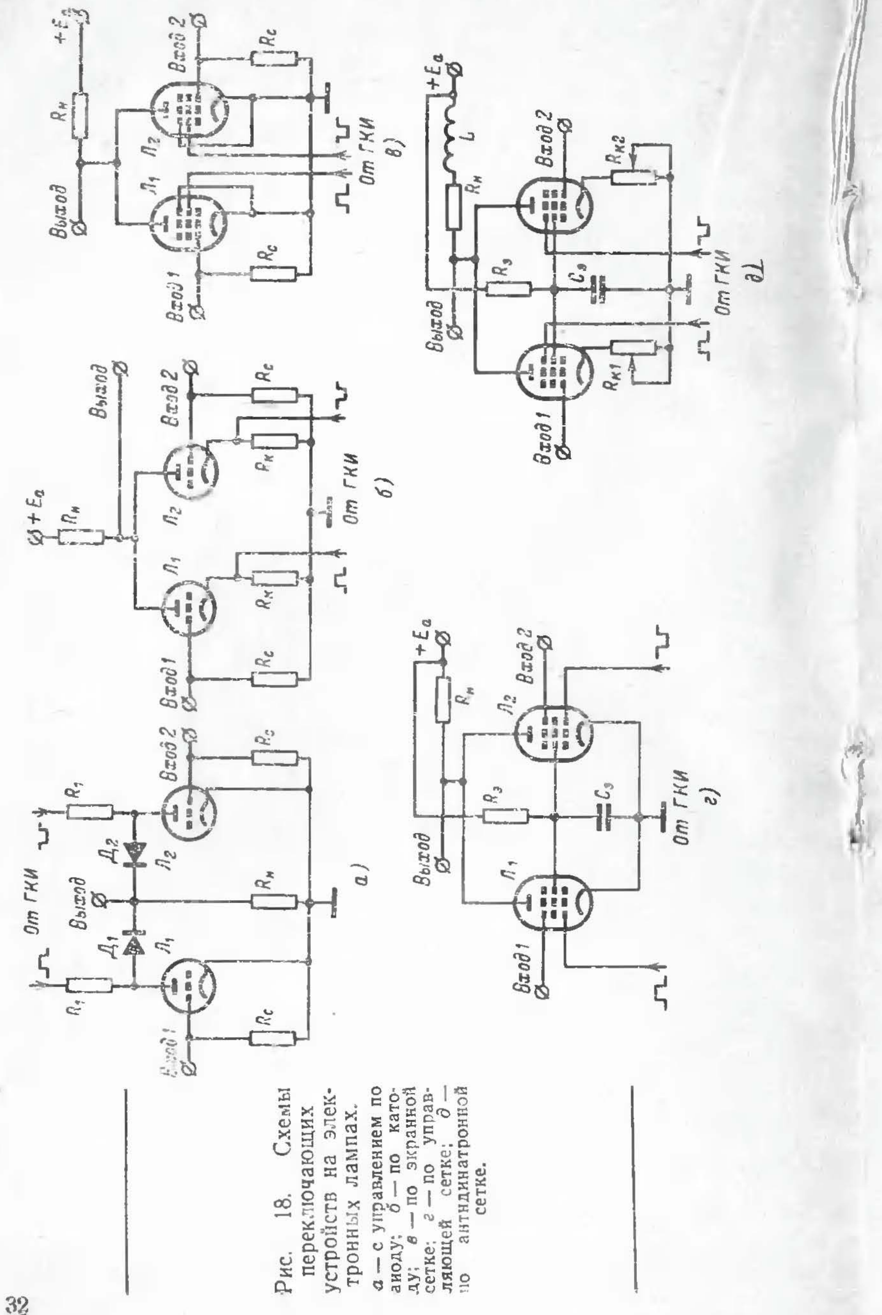


Рис. 18. Схемы переключающих устройств на электронных лампах.

а — с управлением по аноду; *б* — по катоду; *в* — по экранной сетке; *г* — по управляющей сетке; *д* — по антидинатронной сетке.

сов, вырабатывающий импульсы напряжения большой амплитуды (до 100 *в*). Кроме большой амплитуды, генератор должен обеспечивать необходимый анодный или экранный ток. Все это требует повышения мощности генератора коммутирующего напряжения, что усложняет его схему и увеличивает потребляемую мощность. Несмотря на указанные недостатки, метод коммутации по экранной сетке применяется часто. При коммутации по управляющей сетке и катоду для переключения необходимы импульсы незначительной амплитуды— не более 10—15 *в*. При коммутации по управляющей сетке исследуемый сигнал подается на третью сетку, коэффициент усиления такой схемы невелик. Но схемы коммутации по катоду и антидинатронной сетке имеют существенный недостаток: «пролезание» переключающих импульсов из цепи катода или третьей сетки на управляющую сетку через паразитные межэлектродные и монтажные емкости. Такое пролезание приводит к искажению формы исследуемого сигнала, снимаемого с общей анодной нагрузки. В переключающих устройствах на активных элементах, кроме коммутации, происходит еще и усиление исследуемых сигналов; поэтому в них целесообразнее использовать многоэлектродные лампы как более пригодные для усиления в широком спектре частот, а также имеющие малую проходную емкость.

Полупроводниковые переключающие устройства получили широкое распространение благодаря существенным преимуществам, которыми они обладают по сравнению с электронными лампами: повышенной надежностью работы; очень малым падением напряжения в проводящем состоянии (1—10 *мв*); меньшей стоимостью, габаритами, весом; для их переключения необходимы импульсы меньшей амплитуды и др.

Коммутация транзисторов в таких переключающих устройствах из одного состояния в другое осуществляется по любому электроду — коллектору, эмиттеру или базе. Схема переключающего устройства с управлением по коллектору приведена на рис. 19,*а*. С генератора коммутирующих импульсов переключающие импульсы подаются на коллекторы транзисторов T_1 и T_2. Отрицательные импульсы отпирают поочередно каждый из них. Резисторы R_3 и R_4 служат для создания необходимого смещения на транзисторах в момент их отпирания. Исследуемые сигналы через R_7 и R_8, служащие для ослабления входного сигнала, подаются на базы транзисторов T_1 и T_2. Резисторы R_5 и R_6 служат для ограничения величины тока базы транзисторов. Оба транзистора работают на общую нагрузку, с которой сигнал подается на выходной усилитель. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ и резисторы R_1, R_2 введены в схему для того, чтобы обеспечить надежное запирание транзисторов. Когда на коллектор триода с генератора коммутирующих импульсов поступает положительный импульс, запирающий триод, этот же импульс через соответствующий диод ($Д_1$ или $Д_2$) подается на базу транзистора. Потенциал базы относительно эмиттера повышается, и транзистор запирается не только по цепи коллектора, но и по цепи базы; это в значительной степени исключает взаимное влияние каналов.

Схемы с управлением по эмиттеру и по базе приведены соответственно на рис. 19,*б*, *в*. Работа схемы с управлением по эмиттеру аналогична работе схемы с управлением по катоду (рис. 18,*б*). В схеме с управлением по базе (рис. 19,*в*) переключающие импульсы подаются на базы транзисторов T_1 и T_2, поочередно запирая и отпирая их. Когда транзистор, например T_1, закрыт (сопротивление участка коллектор — эмиттер $R_{к.э}$ большое), то сигнал с *Входа 1* вы-

деляется на общей нагрузке R_3, R_4. Транзистор T_2 в это время открыт ($R_{кэ}$ мало), и сигнал с *Входа 2* закорачивается через транзистор T_2 на землю. Эквивалентная схема переключающего устройства с управлением по базе приведена на рис. 19,*г*. Здесь транзисторы представлены в виде идеальных ключей K_1 и K_2. В этой схеме R_1 и R_2 (эквивалентное сопротивление между входом и эмиттером транзистора) должно быть много больше сопротивления открытого

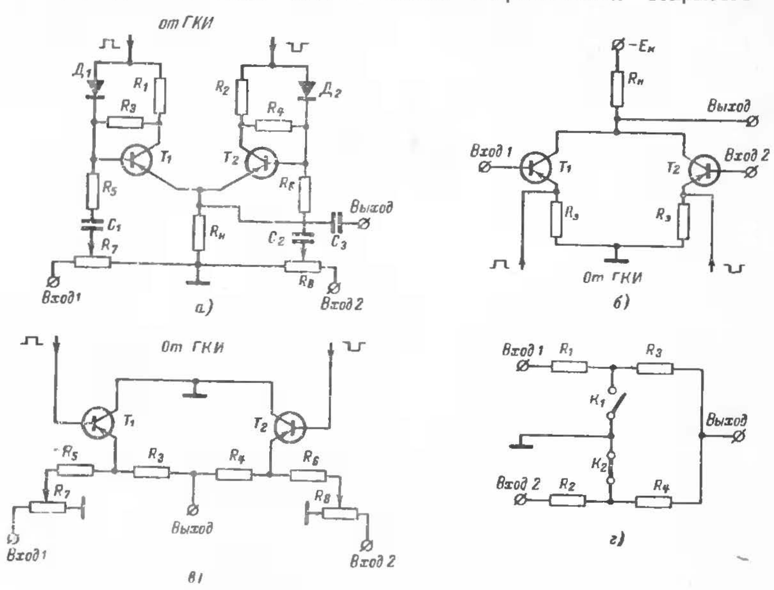


Рис. 19. Схемы переключающих устройств на транзисторах.

а — с управлением по катоду; *б* — по эмиттеру; *в* — по базе; *г* — эквивалентная схема переключающего устройства с управлением по базе.

транзистора. Но чтобы амплитуда выходного сигнала была равна половине амплитуды входного сигнала, R_1 и R_2 должны быть значительно меньше R_3 и R_4. Резисторы R_1 и R_2 должны быть, однако, не так малы, чтобы не нагружать входы. В этой схеме транзистор работает в чисто ключевом режиме. Схемы переключающих устройств, у которых транзисторы работают в чисто ключевом режиме, нашли широкое распространение. Усиления исследуемых сигналов в таких переключающих устройствах не происходит. Так, в схеме на рис. 19,*в* выходной сигнал ослабляется примерно в 2 раза. Примером схемы, в которой транзисторы работают в чисто ключевом режиме, но ослабления сигнала не происходит, может служить схема ключа на двух транзисторах, включенных инверсно, приведенная на рис. 20,*а*. К цепям коллектор — база транзисторов подводится коммутирующее напряжение $u_к$ прямоугольной формы. При соответствующем подборе величины напряжения $u_к$ и положительном потенциале на коллекторах сопротивление переходов эмиттер—коллектор падает почти до нуля. В цепях коллекторов протекают прямые токи, и оба коллектора могут выполнять роль эмиттеров, причем каждый из них может прово-

дить ток в любом направлении, работая как диод в прямом направлении или как коллектор в обратном направлении. Следовательно, цепь эмиттер транзистора T_1 — эмиттер T_2 проводит ток в любом направлении, т. е. представляет собой замкнутый ключ. При отрицательном потенциале коллекторов в их цепях протекают лишь незначительные обратные токи и ни один из эмиттеров не может выполнять роль коллектора. При любой полярности измеряемого напряжения один из эмиттеров запирает цепь и транзисторный ключ будет разомкнут. Резистор $R_н$ в схеме является нагрузочным и служит для обеспечения четкой работы ключа. Схема переключающего уст-

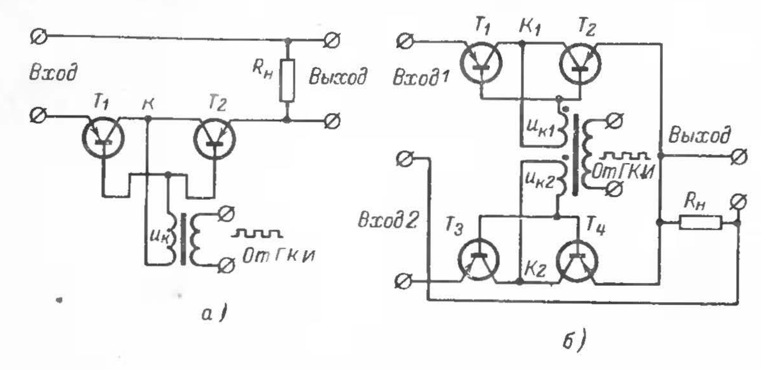


Рис. 20. Схемы переключающих устройств на транзисторах без ослабления сигнала.

а — схема ключа; *б* — переключающее устройство на два канала.

ройства на два канала с применением таких ключей приведена на рис. 20,*б*. Переключающие импульсы подаются в цепь база — коллектор ключей K_1 и K_2 в противофазе. Если на коллекторах T_1 и T_2 ключа K_1 положительный потенциал, ключ K_1 будет замкнут и сигнал с *Входа 1* выделится на нагрузке. Ключ K_2 разомкнут, так как на его коллектор подан отрицательный потенциал. В следующий полупериод полярность переключающих импульсов изменится и на $R_н$ выделится сигнал, подаваемый на *Вход 2*.

Переключающие устройства на пассивных элементах. Эти переключающие устройства только коммутируют, но не усиливают исследуемые сигналы. Они выполняются в основном на диодах. Использование диодов (обычных или стабилитронов) в качестве ключей основано на свойстве диода проводить ток только при условии, что потенциал анода выше потенциала катода, т. е. в идеальном случае сопротивление проводящего диода равно нулю и бесконечно велико, когда диод закрыт. Схема переключающего устройства на диодах приведена на рис. 21. При подаче на диоды $Д_1$ и $Д_2$ переключающих импульсов с полярностью, указанной на рисунке, и амплитудой, большей наибольшего входного сигнала, диод $Д_1$ будет открыт, а $Д_2$ — закрыт. В этом случае сопротивление участка *аб* будет незначительным, так как сопротивление открытого диода мало и сигнал, подаваемый на *Вход 1*, выделяется на общей нагрузке $R_н$. Сопротивление участка *вг* равно обратному сопротивлению диода. При применении кремниевых диодов это сопротивление составляет около

10 *Мом*, и поэтому сигнал, подаваемый на *Вход 2*, на нагрузке $R_н$ практически отсутствует. В следующий полупериод будет открыт $Д_2$, а $Д_1$ — закрыт, ибо изменится полярность переключающих импульсов, и на $R_н$ выделится сигнал, подаваемый на *Вход 2*.

Для улучшения характеристик диодных ключей вместо диодов используют стабилитроны, работающие в режиме пробоя. Известно, что стабилитроны работают как обычные диоды, если напряжение прикладывается к нему в прямом направлении. Если же напряжение прикладывается в обратном направлении, то при достижении напряжения пробоя он «пробивается». Для того чтобы на стабилитрон подавалось напряжение в полярности, при которой он работает в режиме пробоя, последовательно с стабилитроном одноименными электродами включен диод *Д* (рис. 22,*а*). Последовательную цепочку, состоящую из диода *Д* и стабилитрона *Ст*, можно представить в виде диода $Д_1$ с идеальной характеристикой, на которую подано напряжение смещения *E* с внутренним сопротивлением источника *R*, представляющим собой сумму сопротивлений диода и стабилитрона (рис. 22,*б*). Величину *E* можно выбирать путем подбора типа стабилитрона и последовательного включения нескольких стабилитронов. Схема переключающего устройства на стабилитронно-диодных ключах совместно с генератором коммутирующих импульсов, выполненного по схеме триггера, приведена на рис. 22,*в*. Она работает аналогично схеме, приведенной на рис. 21.

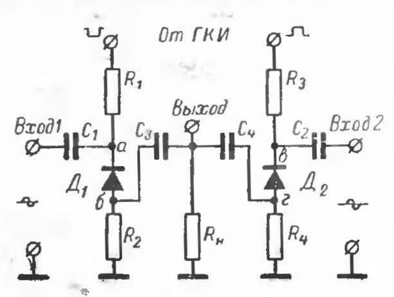


Рис. 21. Схема переключающего устройства на диодах.

Для коммутации сигналов широко применяются мостовые схемы, выполненные на диодах (ламповых и полупроводниковых). Принципиальная схема такого переключающего устройства приведена на рис. 23. Схема работает следующим образом. Между *Входом 1* и нагрузкой $R_н$ включается *Мост 1*, между *Входом 2* и той же нагрузкой $R_н$ включается *Мост 2*. На другие диагонали мостов подаются переключающие импульсы: на первый мост — положительный, на другой — отрицательный. Положительный импульс запирает *Мост 1*, и сигнал со *Входом 1* выделяется на этом мосте и почти не попадает на нагрузку $R_н$ (сопротивление нагрузки должно быть гораздо меньше, чем сопротивление запертого моста). В это время *Мост 2* открыт и сигнал со *Входа 2* проходит через него на общую нагрузку $R_н$. В следующий полупериод переключающие импульсы, подводимые к мостам, поменяют полярность, поэтому изменяется и проводимость мостов на обратную и соответственно на нагрузке будет выделяться сигнал, подаваемый на другой вход. Таким образом, на нагрузке будет выделяться сигнал, подаваемый то на *Вход 1*, то на *Вход 2*. В дальнейшем сигналы могут усиливаться до нужной величины.

Мостовая схема переключающего устройства работает тем лучше, чем больше отношение обратного сопротивления диода к прямому и чем меньше прямое сопротивление диода. Применение ламповых диодов нежелательно из-за наличия значительной проходной емкости между входом и нагрузкой. Существующая паразитная емкость пропускает высокие частоты даже в том случае, когда мост заперт. Это является ограничением для применения ламповых мостов в широком диапазоне частот. Кроме того, ламповые диоды имеют большее, чем полупроводниковые диоды, сопротивление в прямом направлении, что снижает коэффициент передачи переключающего устройства. К тому же для переключения полупроводниковых диодов требуются переключающие импульсы значительно меньшей амплитуды. Это позволяет упростить схему генератора коммутирующих импульсов, выполнить ее на транзисторах. При применении в схеме моста диодов типа Д311 возможно создать переключающее устройство для передачи сигнала с полосой частот до 100 *Мгц*.

Достоинствами диодных переключающих устройств перед транзисторными являются их простота, меньший ток в разомкнутом состоянии, бо́льшая стабильность падения напряжения на открытом диоде, лучшие динамические характеристики.

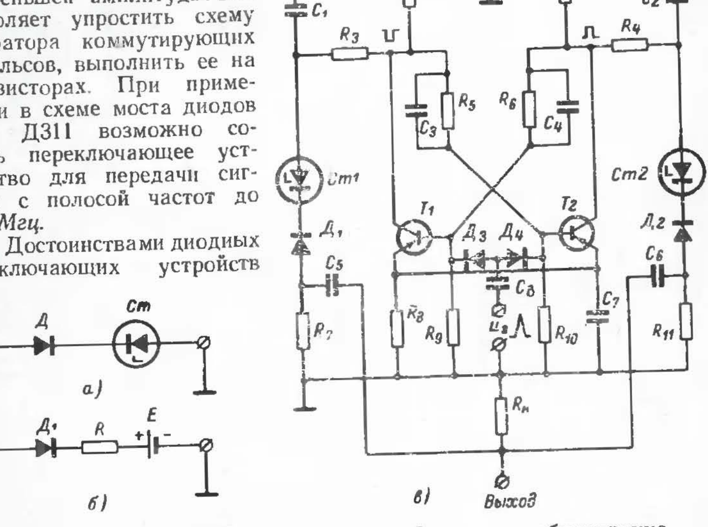


Рис. 22. Схема переключающего устройства на стабилитронно-диодных ключах.

а — последовательное соединение стабилитрона и диода; *б* — эквивалентная схема последовательного соединения; *в* — переключающее устройство с генератором коммутирующих импульсов, выполненным по схеме триггера.

Следует заметить, что приведенные примеры не исчерпывают всего многообразия электронных переключающих устройств.

Электроннолучевые переключающие устройства специальной конструкции. Электроннолучевые коммутаторы служат для замыкания и размыкания цепей при помощи электронного луча. Различают три группы таких переключающих устройств: а) электроннолучевые; б) радиальные; в) трохотроны.

Электроннолучевые переключающие устройства (рис. 24) имеют конструкцию, подобную осциллографическим трубкам, в которых вместо люминесцентного экрана имеется система контактных элек-

тродов—ламелей, по которым под воздействием электростатического отклоняющего устройства перемещается электронный луч. Электронный луч образуется с помощью электронной пушки, состоящей из катода K, сетки C и двух анодов a_1 и a_2. Под воздействием управляющего напряжения, подаваемого на отклоняющие пластины $П_1$ и $П_2$, луч отклоняется таким образом, что попадает на требуемый контакт. Для устранения влияния вторичной эмиссии на соседние контакты каждый контакт окружен ловушкой.

В радиальных переключающих устройствах электронный луч от катода, расположенного по оси прибора, под действием поля обегает аноды, расположенные по окружности прибора. Каждый анод экранирован от соседних и имеет управляющую систему. В зависимости от потенциала на управляющей сетке анод может быть введен или выведен из управления.

Трохотроны имеют более сложную систему переключения луча. Для формирования электронного луча используются пересекающиеся электрическое и магнитное поля, что позволяет получить легко управляемый электронный луч со значительной величиной тока (до десятков миллиампер) при сравнительно небольших (сотни вольт) напряжениях питания.

Рис. 23. Мостовая схема переключающего устройства.

К достоинствам электроннолучевых переключающих устройств следует отнести высокое быстродействие 10^5—10^6 переключений в 1 *сек*, к недостаткам — сложность, высокая стоимость и малый срок службы. Электроннолучевые переключающие устройства для получения нескольких осциллограмм на экране осциллографа используются очень редко.

В схемах электронных коммутаторов необходимо предусмотреть возможность перемещения осциллограмм относительно друг друга. Совмещение осциллограмм позволяет более качественно произвести их сравнение. В простейшем случае это перемещение можно осуществить подачей на вход совместно с исследуемым сигналом постоянного напряжения, но для этого коммутатор должен коммутировать и постоянное напряжение. Для ламповых схем расстояние между

изображениями при известной чувствительности осциллографа определяется соотношением анодных токов усилительных ламп. Например, в схеме на рис. 18,*д* постоянное напряжение u_1 на аноде лампы $Л_1$ при входном напряжении, равном нулю, равно $u_1=E_a-R_a i_{a01}$, где i_{a01} — анодный ток лампы $Л_1$ при отсутствии сигнала. Это напряжение подается на вход осциллографа. В следующий полупериод переключающего напряжения на вход осциллографа подается постоянное напряжение u_2, определяемое анодным током лампы $Л_2$ $u_2=E_a-R_a i_{a02}$. Разность напряжений $\Delta u_{см}=u_1-u_2=(i_{a01}-i_{a02})R_a$ на выходе коммутатора в оба полупериода определяет расстояние l между линиями развертки каналов и имеет прямоугольную форму. Величину расстояния l можно определить, умножив $\Delta u_{см}$ на чувствительность осциллографа $l=\Delta u_{см}S$, *мм*. Поэтому при отсутствии сигналов на экране осциллографа получаются две параллельные светящиеся линии. Для того чтобы изменять расстояние между ними, надо изменять анодные токи ламп.

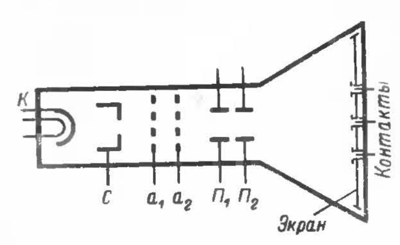


Рис. 24. Электроннолучевое переключающее устройство.

Проще всего это осуществляется регулировкой смещения ламп $Л_1$ и $Л_2$ или изменением потенциала экранной или управляющей сеток. Очевидно, что совмещение осциллограмм будет при $i_{a01}=i_{a02}$. Во многих схемах на транзисторах перемещение осциллограмм осуществляется аналогичным образом. В диодных схемах и, в частности, в мостовых схемах перемещение осуществляется подачей соответствующего напряжения смещения в измерительную диагональ моста.

Переключающее устройство коммутатора С1-15/3 (см. рис. 13,*а*, *б*, *в*) собрано на лампах $Л_5$, $Л_6$ ($Л_3$, $Л_4$) по фазоинверсной схеме и работает на общие нагрузки (L_1, L_2, R_{21}—R_{25}), на которых попеременно выделяются сигналы обоих каналов. Коммутация осуществляется по третьим сеткам, потенциал которых в рабочем режиме равен потенциалу катода. Усиленный исследуемый сигнал подается с катодного повторителя на управляющую сетку одной лампы. Плавным изменением потенциала управляющей сетки другой лампы (потенциометры R_{68}[R_{72}]) осуществляется смещение луча по вертикали — *Смещение Y*, ручка управления выведена на переднюю панель (рис. 12). Изменением сопротивления в цепи катода R_{16} [R_{14}] можно изменять усиление каскада. Эти потенциометры выведены на переднюю панель *Коррект. усиления*. Для возможности исследования двух разнополярных сигналов введен переключатель $П_3$($П_4$), который подключает исследуемый сигнал к управляющей сетке лампы $Л_5$ или $Л_6$. Ввиду разброса параметров ламп 6Ж10П для выбора рабочей точки ламп $Л_4$, $Л_6$ введены потенциометры R_{70}, R_{74}. Потенциометр R_{24} служит для выравнивания токов ламп $Л_5$, $Л_6$ ($Л_3$, $Л_4$). Коррекция частотной характеристики переключающего устройства в области высоких частот осуществляется индуктивностями L_1, L_2.

Выходное устройство. Выходное устройство предназначено для усиления исследуемых сигналов, подаваемых с переключающего устройства, и представляет собой измерительный усилитель. Основное

требование, предъявляемое к нему, — обеспечение требуемого усиления исследуемых сигналов при заданных искажениях. В коммутаторах, выполненных в виде приставки к осциллографу, не требуется большое усиление, так как основное усиление сигнала осуществляется усилителем вертикального отклонения осциллографа. Поэтому выходные устройства таких коммутаторов собираются по однокаскадной схеме или отсутствуют, если требуемое усиление обеспечивает переключающее устройство. Схема однокаскадного выходного устройства, выполненного на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, приведена на рис. 25. Сопротивления R_1, R_2 определяют рабочую точку транзистора. Для стабильности работы каскада введена отрицательная обратная связь по току, осуществляемая R_4.

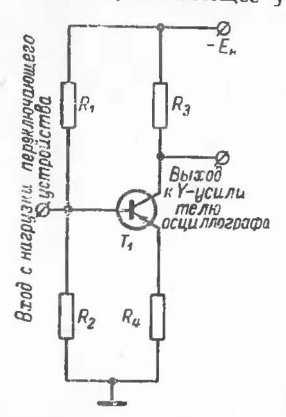


Рис. 25. Схема выходного устройства на транзисторах.

В коммутаторах, выполняемых в виде сменного блока осциллографа, выходное устройство должно обеспечивать большое усиление, так как исследуемый сигнал подается с коммутатора непосредственно на пластины трубки или на оконечный каскад усилителя вертикального отклонения осциллографа. Электроннолучевые трубки осциллографов имеют малую чувствительность (0,2—0,4 *мм/в*), поэтому, чтобы получить достаточное по высоте изображение сигнала, на отклоняющие пластины необходимо подавать напряжение значительной амплитуды. Получение больших амплитуд напряжений при малых искажениях — не простая задача. Чаще всего она решается применением двухтактных схем. Примером такого выходного устройства может служить выходное устройство коммутатора С1-15/3, схема которого приведена на рис. 13,*а, б, в*. Она собрана на лампах $Л_7$ и $Л_8$, на управляющие сетки которых подается сигнал с общих нагрузок переключающего устройства. Индуктивности L_3, L_4 служат для коррекции частотной характеристики по высокой частоте. Связь анода лампы $Л_7$ ($Л_8$), имеющего потенциал +200 *в*, с управляющей сеткой согласующего каскада, имеющей потенциал —77 *в*, осуществляется потенциометрическими делителями, нижним плечом которых являются лампы $Л_6$, $Л_{10}$. Такие делители имеют коэффициент передачи, близкий к единице. Для симметрирования согласующего каскада с учетом несимметрии выходного каскада служит потенциометр R_{44}. Потенциометр R_{42} предназначен для установки режимов согласующего каскада. Для коррекции частотной характеристики в области низких частот введена частотнозависимая положительная обратная связь. С анодов согласующего каскада ($Л_{11}$, $Л_{12}$) напряжение подается на сетку пентодного делителя, усиливается им и снова поступает на сетку согласующего каскада. Регулировка величины обратной связи осуществляется R_{43}. Конденсатор C_{11} шунтирует высокие частоты, определяя верхнюю границу коррекции. Согласующий каскад собран тоже по двухтактной схеме с общим катодным сопротивлением. Потенциометр R_{54} осуществляет подстройку усиления согласующего каскада. С согласующего каскада сигнал через разъем поступает на осциллограф С1-15.

ВЫБОР ЭЛЕКТРОННОГО КОММУТАТОРА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Основные технические характеристики коммутаторов

Электронные коммутаторы характеризуются в основном теми же параметрами, что и электроннолучевые осциллографы: количеством одновременно исследуемых процессов, полосой пропускания, точностью измерения временных интервалов и амплитуды, завалом вершины исследуемых импульсов, временем нарастания импульса, при воспроизведении которого выброс на изображении отсутствует, входным сопротивлением и емкостью, входом (открытым или закрытым), чувствительностью, условиями эксплуатации, возможностью синхронизации, надежностью и др.

Надежность коммутатора определяют: выбор схемы, технология его изготовления, конструкция и надежность примененных в нем элементов. Для увеличения надежности коммутаторов предусматриваются калибровка, балансировка и регулировка некоторых элементов и параметров схемы.

Но к коммутаторам предъявляются и особые требования: способ переключения каналов; частота переключений; минимальная частота переключений, при которой обеспечивается наблюдение исследуемого сигнала; время установления каналов; величина помехи, выделяемой на нагрузке каналами, закрытыми для прохождения сигнала; напряжение «пролезания» переключающих импульсов на вход и выход коммутатора.

Выбор коммутатора по заданным характеристикам

Выбор переключающего устройства. Переключающее устройство осуществляет поочередное подключение входов, на которые поданы исследуемые сигналы, на выход коммутатора. Они должны коммутировать входные сигналы в диапазоне частот, амплитуд с точностью, заданной в технических требованиях. Переключающее устройство может коммутировать сигналы лишь в определенном диапазоне амплитуд. Если диапазон входных сигналов больше, то включается входное устройство, осуществляющее согласование диапазона входных амплитуд с диапазоном амплитуд, коммутируемых переключающим устройством. Качество переключающего устройства характеризуют ослабление сигнала каналом, открытым для его прохождения, и величина помехи, выделяемая на нагрузке каналами, закрытыми для прохождения сигнала. Обе эти величины определяются характеристиками ключей переключающего устройства. Определим ослабление сигнала Δu и величину помехи $u_{пом}$ для схемы на рис. 8,*а*:

$$\Delta u = u_{вх} - u_{вых} = u_{вх}\left(1 - \frac{1}{R_о + R_э}\right),$$

где $u_{вх}$ и $u_{вых}$ — соответственно входное и выходное напряжения переключающего устройства; $R_о$ — сопротивление открытого канала; $R_э = \frac{R_н R_з (n-1)}{(n-1) R_з + R_н}$ — эквивалентное сопротивление; $R_н$ — сопротивление нагрузки; $R_з$ — сопротивление закрытого канала (у всех за-

крытых каналов предполагается равенство сопротивлений); n — число каналов.

$$u_{\text{пом}} = \frac{u_{\text{вх}}\left(\frac{R_{\text{н}}R_0}{R_{\text{н}}+R_0}\right)}{R_{\text{з}}+\frac{R_{\text{н}}R_0}{R_{\text{н}}+R_0}}(n-1)$$

при $u_{\text{вх}1}=u_{\text{вх}2}=u_{\text{вх}n}=u_{\text{вх}}$ и $R_{\text{з}}\gg R_0$.

Но Δu и $u_{\text{пом}}$ зависят не только от характеристик ключа, но и от схемы переключающего устройства. Так, для схемы на рис. 19,*в* сигнал ослабляется почти в 2 раза; $\Delta u = \frac{u_{\text{вх}}R_4}{R_1+R_3+R_4}$ при $R_{\text{в}} = \infty$ и $R_0 = 0$.

Определение Δu и $u_{\text{пом}}$ лучше всего производить по эквивалентной схеме переключающего устройства. Приведенные расчеты сделаны без учета паразитных емкостей схемы, которые оказывают значительное влияние при коммутации высокочастотных сигналов.

Качество переключающего устройства характеризует также пролезание переключающих импульсов на вход и выход устройства. Величина подавления переключающих импульсов на входе и выходе определяется при выбранной схеме переключающего устройства значением паразитных емкостей и характеристиками ключа. На уменьшение Δu, $u_{\text{пом}}$ и взаимного влияния между каналами должны быть направлены основные усилия разработчика.

Проведем выбор параметров переключающего устройства, собранного, например, по схеме на рис. 18,*д*, по следующим техническим требованиям: амплитуда входного импульсного напряжения 0—0,5 *в*; длительность входных прямоугольных импульсов 1—10 *мксек*; допустимые искажения — завал вершины $\lambda_{\text{и}} = \frac{\Delta u_{\text{вых}}}{u_{\text{вых}}} \leqslant 0{,}05$; время нарастания $t_{\text{фа}}=0{,}1\,t_{\text{и}}$; входное сопротивление не менее 500 *ком*; входная емкость не более 50 *пф*; коэффициент усиления не менее 8; напряжение $\Delta u_{\text{см}}$, определяющее расстояние между линиями развертки, не менее 10 *в*; напряжение источника питания $E_{\text{а}}=150$ *в*.

В качестве лампы для схемы с управлением по третьей сетке лучше всего использовать пентоды с двойным управлением (6Ж2Б, 6Ж2Б-В, 6Ж2П, 6Ж2П-В, 6Ж10П, 6Ж10Б). Лампу выбираем по допустимой входной емкости $C_{\text{вх.доп}} \geqslant C_{\text{вх}} = C_{\text{с.к}} + C_{\text{с.э}} + [1+K]C_{\text{с.а}} + C_{\text{м}}$, где $C_{\text{вх.доп}}$ — допустимая входная емкость; $C_{\text{вх}}$ — фактическая входная емкость; $C_{\text{с.к}}$ — емкость управляющая сетка — катод; K — коэффициент усиления каскада; $C_{\text{с.э}}$ — емкость управляющая сетка — экранная сетка; $C_{\text{с.а}}$ — емкость управляющая сетка — анод; $C_{\text{м}}$ — емкость монтажа, обычно равная 10—15 *пф*. Подсчитаем $C_{\text{вх}}$, например, лампы 6Ж2П-В. Из паспортных данных видно, что $C_{\text{с.к}} + C_{\text{с.э}} = 4{,}7$ *пф*; $C_{\text{с.а}} = 0{,}035$ *пф*; $C_{\text{м}}$ выбираем равной 15 *пф*. Тогда $C_{\text{вх}} = 4{,}7 + (1+8)\times 0{,}035 + 15 \approx 20$ *пф* < 50 *пф*. Выбираем эту лампу. Ее параметры $S=3{,}8$ *ма/в*; $R_i=80$ *ком*; напряжение запирания лампы по третьей сетке не менее —15 *в*. Поэтому выбираем амплитуду переключающих импульсов $u_{\text{им}}=40$ *в*. При подаче отрицательного перепада переключающих импульсов лампа запирается, при подаче положительного перепада потенциал третьей сетки равен потенциалу катода.

Входное сопротивление определяет величину $R_{\text{с}}$. Выбираем $R_{\text{с}} = 510$ *ком*. Величину $R_{\text{э}}$ выбираем из соотношения

$$R_{\text{э}} = \frac{E_{\text{а}} - u_{\text{с}2}}{I_{\text{с}1} + I_{\text{с}2}},$$

где $R_{\text{э}}$ — сопротивление в цепи экранной сетки; $u_{\text{с}2}$ — напряжение на экранной сетке; $I_{\text{с}1}$, $I_{\text{с}2}$ — токи экранных сеток $Л_1$ и $Л_2$ соответственно, $I_{\text{с}1}$ и $I_{\text{с}2}$ не должны превышать значения, приведенного в паспорте.

Тогда $R_{\text{э}} = \frac{150-120}{5\cdot 10^{-3}} = 6\,000$ *ом*. Выбираем емкость в цепи экранной сетки $C_{\text{э}} = 0{,}1$ *мкф*. Величину сопротивления $R_{\text{а}}$ определяем по формуле $R_{\text{а}} \approx \frac{t_{\text{ф.а}}}{2{,}3C_{\text{вых}}}$, где $C_{\text{вых}} = C_{\text{а.к}} + C_{\text{м}}$ — выходная емкость. Определим $C_{\text{вых}}$ для лампы 6Ж2П-В: $C_{\text{вых}} = 2{,}4 + 15 = 17{,}4$ *пф*, тогда $R_{\text{а}} \approx \frac{0{,}1\cdot 1\cdot 10^{-6}}{2{,}3\cdot 17{,}4\cdot 10^{-12}} \approx 2\,700$ *ом*. Коэффициент усиления каскада $K = SR_{\text{а}} = 3{,}8\cdot 10^{-3}\cdot 2\,700 \approx 10$.

Для уменьшения искажений усиливаемого импульса введена индуктивность L, величина которой может быть определена по формуле $L = MR_{\text{а}}^2 C_{\text{вых}}$, где M — коэффициент коррекции, определяемый из графика (см.: Ицхоки Я. С., Импульсные устройства, изд-во «Советское радио», 1959).

Далее проводим нагрузочную прямую под углом $\gamma = \operatorname{arctg}\frac{1}{R_{\text{а}}}$ Выбираем напряжение смещения первой сетки лампы $u_{\text{с}_1} = 1{,}7$ *в*, тогда сопротивление в цепи катода первой лампы $R_{\text{к}_1} = \frac{u_{\text{с}_1}}{i_{\text{ао}_1} + I_{\text{с}_1}} = \frac{1{,}7}{(6+2{,}5)10^{-3}} \approx 200$ *ом*, где $i_{\text{ао}_1}$ — анодный ток покоя первой лампы; $I_{\text{с}_1}$ — ток экранной сетки первой лампы; $\Delta u_{\text{см}} = R_{\text{а}}(i_{\text{ао}1} - i_{\text{ао}2})$; откуда анодный ток покоя второй лампы $i_{\text{ао}2} = \frac{\Delta u_{\text{см}}}{R_{\text{а}}} + i_{\text{ао}1} = \frac{10}{2\,700} + 6\cdot 10^{-3} = 9{,}7\cdot 10^{-3}$ $a = 9{,}7$ *ма*. По характеристике определяем $u_{\text{с}_2} = 0{,}8$ *в*. Тогда величина сопротивления в цепи катода второй лампы $R_{\text{к}_2} = \frac{u_{\text{с}2}}{i_{\text{ао}2} + I_{\text{с}2}} = \frac{0{,}8\cdot 10^{-3}}{9{,}7+2{,}5} \approx 65$ *ом*. Чтобы возможно было смещение линий развертки, вместо постоянных $R_{\text{к}_1}$ и $R_{\text{к}_2}$ нужно включить переменные сопротивления.

Выбор генератора коммутирующих импульсов. Для выбора схемы генератора необходимо знать амплитуду импульсов $u_{\text{им}}$, частоту переключений и длительность фронта переключающих импульсов. Амплитуда импульсов определяется из условия полного запирания ламп (транзисторов) переключающего устройства. Частоту переключений определяет выбор способа переключения каналов. Желательно, чтобы в коммутаторе предусматривались все три способа переключения каналов. Как уже отмечалось, при исследовании периодических сигналов выбор частоты переключений для первых двух способов

некритичен. При третьем способе частота переключений определяется частотой развертки, поэтому генератор должен синхронизироваться этой частотой. Исследование нескольких однократных процессов возможно лишь при втором способе переключения каналов. Очевидно, что в этом случае длительность однократного процесса должна определять частоту переключений $f_п$. Чем больше отрезков будет составлять осциллограмму, тем она будет более четкой. Подсчитаем, какое должно быть соотношение между частотой коммутации $f_п$ и длительностью исследуемого процесса $T_с$, чтобы обеспечить удовлетворительную четкость изображения при исследовании однократных процессов. Как показали исследования, при длине развертки 50—150 *мм* изображение получается хорошего качества, если длина отрезка, из которых состоит осциллограмма, не превышает 1—2 *мм*. Например, при длине развертки 100 *мм* осциллограмма должна состоять из 25—50 отрезков. Длительность одного отрезка и промежутка составляет период коммутации. Следовательно, за один прямой ход развертки должно происходить не менее чем 25—50 переключений, тогда частота переключений $f_п = (25 \div 50)\frac{1}{T_{пр.х}}$, где $T_{пр.х}$ — длительность прямого хода генератора развертки осциллографа[1]. А так как за прямой ход развертки лучше всего наблюдать один период исследуемого напряжения, то $f_п = (25 \div 50)\frac{1}{T_с}$. Из приведенного выражения следует, что чем короче длительности импульсов, которые необходимо исследовать, тем выше надо брать частоту переключений. Рассмотрим факторы, ограничивающие увеличение частоты переключений. Чтобы переключение каналов происходило за малое время, фронты переключающих импульсов должны быть крутыми. При больших длительностях фронтов переключающих импульсов и хорошей яркости трубки на экране наблюдаются моменты переключения каналов, которые уменьшают четкость осциллограммы. Достаточно хорошее изображение получается в том случае, когда длительность фронта переключающего импульса не превышает 5—10% от общей длительности импульса. Известно, что со схем простых полупроводниковых триггеров, которые часто используются в качестве генераторов коммутирующих импульсов, можно получить переключающие импульсы с амплитудой 4—8 *в* и с длительностью фронта не лучше 0,1 *мсек*. У триггеров и мультивибраторов на лампах также трудно получить длительность фронта импульса лучше 0,1 *мксек*. Поэтому длительность полупериода переключающего импульса будет около 1 *мксек*, а следовательно, частота переключений может достигать 500 *кгц*. Однако разработаны схемы с более высокой частотой переключения (1 *Мгц*), что достигается применением в оконечном каскаде генератора многофазного мультивибратора. Применение новых элементов в схемах генераторов позволит уменьшить длительность фронта переключающих импульсов и, следовательно, увеличить частоту переключений без усложнения схемы.

Проведем расчет генератора импульсов, собранного, например, по схеме, приведенной на рис. 15,*а*. Предположим, что управление переключающего устройства осуществляется по третьей сетке и для переключений необходимо напряжение $u_{им} = 40$ *в*. Наименьшая длительность импульса однократного процесса 1 *мсек*. Коммутатор должен иметь две частоты переключений. Источник напряжения питания схемы $E_а = 150$ *в*. Необходимо определить параметры схемы. Определим частоту переключений, необходимую для исследования однократного процесса, $f_п = (25 \div 50)\frac{1}{T_с}$; $f_п = 50\frac{1}{1\ мсек} = 50$ *кгц*.

Вторую частоту можно выбирать любой, но ниже 50 *кгц*. Выбираем ее равной 200 *гц*. Для схемы генератора выбираем лампу 6Н1П (двойной триод) с параметрами: $R_i = 8$ *ком*, $\mu = 35$ и $S = 4{,}3$ *ма/в*. Величину сопротивления сетка — катод $r_{с.к}$ открытой лампы принимаем 1 *ком*. Определяем величину $R_а = \frac{u_{им}R_р}{E_а - u_{им}}$. Считая $R_i = R_р$, находим $R_а = R_{а1} = R_{а2} = \frac{40 \cdot 8 \cdot 10^3}{150 - 40} \approx 3\,000$ *ом*. Выбрав $R_с = 100$ *ком*, находим величину емкости C_1

$$C = \frac{1}{2f_п R_с \ln \mu \frac{R_а}{R_а + R_р}};$$

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot \ln 35 \frac{3 \cdot 10^3}{(3+8) \cdot 10^3}} \approx 44 \cdot 10^{-12} = 44\ пф;$$

$$C_2 = \frac{1}{2 \cdot 200 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 2{,}26} \approx 0{,}01 \cdot 10^{-6} = 0{,}01\ мкф.$$

Определим $t_ф \approx 2{,}3 C_0 R_0$. Вначале вычислим: $C_0 = C_{вых} + C_{вх} + C_м = 1{,}9 + 3{,}1 + 10 = 15$ *пф* и $\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_а} + \frac{1}{R_р} + \frac{1}{R_с} = \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{8} + \frac{1}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 0{,}47 \cdot 10^{-3}$ *1/ом*; $R_0 \approx 2{,}1$ *ком*. Тогда $t_ф \approx 2{,}3 \cdot 15 \times 10^{-12} \cdot 2{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \approx 0{,}1$ *мксек*.

Определим длительность фронта $t_{ф1}$ из условия получения качественного изображения. Длительность импульса переключения

$$T_п = \frac{1}{2f_п} = \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 10^3} = 10 \cdot 10^{-6}\ сек = 10\ мксек;$$

$t_{ф1} = (5 \div 10)\%\ T_п = 0{,}5 \div 1$ *мксек*; $t_ф < t_{ф1}$, значит, по длительности фронта схема удовлетворяет требованию качественного изображения.

Выбор входного и выходного устройства. Выбор схемы входного устройства и заданные технические требования определяют возможности переключающего устройства коммутатора. Входной делитель можно рассчитать по приведенным выше формулам. Важно, чтобы делитель имел постоянное входное сопротивление на всех пределах. При применении катодного (эмиттерного) повторителя ступенчатый делитель напряжения включают на его входе, а плавную регулировку усиления осуществляют переменным сопротивлением, включен-

[1] Более строго выбор частоты переключений необходимо производить с применением теоремы Котельникова [Л. 9].

ным в катодную цепь. Это сопротивление имеет номинал порядка 0,1—1 *ком*, поэтому выходное сопротивление катодного повторителя получается низким, а выходная емкость незначительной (<10 *пф*).

Выбор выходного устройства — это расчет усилительного каскада по заданным коэффициенту усиления и частотным, фазовым и нелинейным искажениям.

Применение коммутаторов

Электронные коммутаторы широко применяются в технике эксперимента для визуального наблюдения нескольких исследуемых процессов. Наибольшее распространение получили двухканальные коммутаторы, позволяющие сравнивать два процесса. Они применяются в электронике для сравнения выходных сигналов четырехполюсников; в механике — для изучения механических вибраций, различных акустических процессов; в электрокардиографии; на лекциях для де-

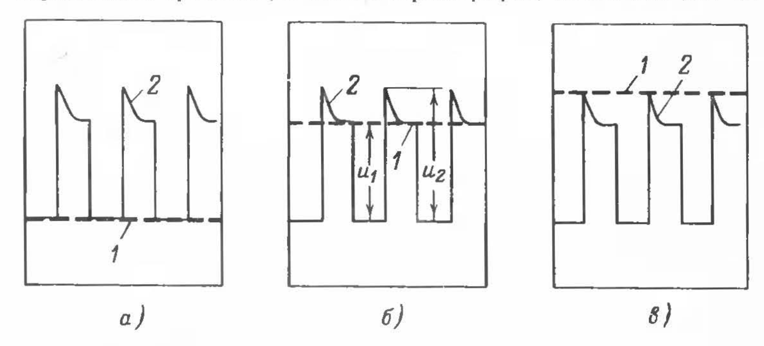


Рис. 26. Измерение амплитуды с помощью электронного коммутатора.

1 — линия развертки второго канала (измерительная линия); 2 — осциллограмма исследуемого напряжения.

монстрации, например, сдвига фаз между напряжением и током на емкости и индуктивности и во многих других областях. С помощью двухканальных коммутаторов на экране двухлучевого осциллографа можно исследовать три или четыре процесса. Во многих случаях это бывает целесообразнее, чем построение четырехканального коммутатора или четырехлучевого осциллографа. В ряде случаев применение двухканальных коммутаторов позволяет значительно проще и точнее провести измерение амплитуды и временны́х параметров исследуемых сигналов. Ниже приведено несколько примеров измерения параметров исследуемых сигналов с помощью коммутаторов.

Измерение амплитуды. Существует несколько способов измерения амплитуды с помощью электронного коммутатора. Рассмотрим один из них. Если исследуемый сигнал подать только на один вход коммутатора, то на экране одновременно с сигналом возникает еще одна горизонтальная линия — линия развертки второго канала. Эта линия может перемещаться в вертикальном направлении по изображению сигнала. Если это перемещение откалибровать в вольтах,

тогда без ошибки из-за паралакса можно измерить амплитуду изображения. Пример измерения амплитуды этим методом иллюстрирует рис. 26, на котором даны три осциллограммы серии импульсов, на которых линия развертки второго канала устанавливается на различный интересующий исследователя уровень (u_1 и u_2). Развертка осциллографа синхронизируется исследуемым сигналом.

Амплитуду можно измерить и таким способом: на один вход коммутатора подать исследуемый сигнал, а на второй — калиброванный сигнал постоянного или переменного напряжения. Изменением амплитуды калиброванного сигнала добиваются равенства изображений по высоте. При совмещении изображений по высоте амплитуды обоих сигналов будут равны, а величина амплитуды калиброванного сигнала нам известна. Если в качестве калиброванного сигнала используется постоянное напряжение, то коммутатор должен обеспечивать коммутацию постоянных напряжений, а осциллограф иметь открытый вход. Для увеличения точности измерений

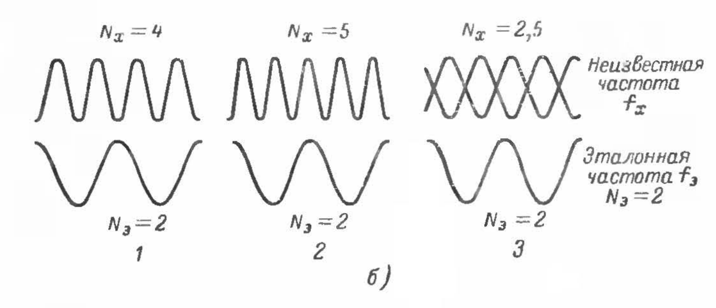


Рис. 27. Блок-схема при измерении частоты с помощью электронного коммутатора (*а*) и осциллограммы, полученные при различных соотношениях $f_э$ и f_x (*б*).

1) $f_x : f_э = 2$; 2) $f_x : f_э = 5/2$; 3) $f_x : f_э = {}^5/_2/2 = 1^1/_4$

можно провести измерение еще раз, поменяв каналы местами, т. е. на тот вход, на который подавался исследуемый сигнал, подать калиброванный сигнал и наоборот. Результат измерения тогда определяют как среднее арифметическое двух измерений. Погрешность измерения амплитуды таким методом может достигать 1—3%.

Измерение частоты. Измерение частоты однолучевым осциллографом с электронным коммутатором значительно проще, чем измерение частоты методом фигур Лиссажу. В этом случае частоту исследуемого напряжения можно определить прямым сравнением частот изображений напряжений эталонной частоты и исследуемого напряжения. Блок-схема устройства для частотных измерений с помощью

коммутатора приведена на рис. 27,*а*. Развертка в этом случае синхронизируется эталонной частотой. Напряжение эталонной частоты подается на один вход электронного коммутатора, напряжение неизвестной частоты — на другой. Учитывая, что частота развертки общая, сравнение числа периодов напряжений позволяет определить неизвестную частоту $f_x = f_э \frac{N_x}{N_э}$, где $N_э$ — число периодов эталонной частоты; N_x — число периодов неизвестной частоты; $f_э$—эталонная частота. На рис. 27,*б* показаны двойные осциллограммы при различных соотношениях эталонной и неизвестной частот. Погрешность измерения частоты таким методом 2—4%.

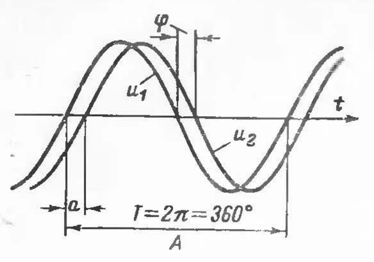


Рис. 28. Определение сдвига фаз между двумя напряжениями одной частоты с помощью двух осциллограмм, полученных посредством электронного коммутатора.

Измерение сдвига фаз. Когда на экране осциллографа изображаются одновременно формы двух напряжений, то взаимная разность фаз (т. е. разница во времени между соответствующими точками кривых) может быть отсчитана непосредственно по экрану. Для определения фазовых соотношений лучше всего наблюдать точки перехода напряжений через нуль (рис. 28), так как положения максимумов для наблюдения менее удобны. Расстояние между нулевыми точками полного периода T соответствует 360°. Сдвиг фаз между напряжениями одной частоты определяется по формуле $\varphi° = 360°/A \; a$, где A — длина, например, в *мм* периода напряжения T; a — длина участка, определяющего сдвиг фаз. Погрешность измерения сдвига фаз таким методом 2—3%.

Приведенные примеры не исчерпывают всех возможностей применения электронных коммутаторов.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КОММУТАТОРОВ

В этой главе приводится описание некоторых практических схем и основных узлов коммутаторов, разработанных радиолюбителями и в заводских лабораториях.

Двухканальный релейный коммутатор

Для питания коммутатора, описанного ниже, используется напряжение развертки осциллографа. Переключение каналов осуществляется во время обратного хода луча. Принципиальная схема коммутатора приведена на рис. 29. Линейно изменяющееся напряжение с выхода генератора развертки осциллографа подается через импульсный трансформатор *Тр*, который включен через разделительный конденсатор C_1, на обмотки двух поляризованных реле (P_1 и

P_2). Элементы схемы выбраны так, что напряжение развертки дифференцируется, и на обмотке *II* трансформатора во время обратного хода луча в осциллографе появляется кратковременный импульс напряжения, который и управляет работой реле.

Во время нечетных периодов развертки реле управляются обмотками, выводы которых отмечены цифрами *1, 2* и *5, 6*; во время четных периодов развертки реле управляются обмотками с выводами *3, 4* и *7, 8*. Переключение обмоток осуществляется контактами одного реле, контакты другого реле переключают вход усилителя вертикального отклонения осциллографа поочередно к движкам потенциометров R_1 и R_2, которые выполняют роль делителей входных напряжений каналов.

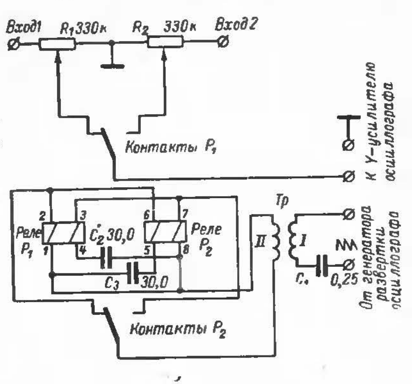


Рис. 29. Принципиальная схема двухканального релейного коммутатора.

Ввиду того что коммутация каналов происходит через каждый период развертки, кривые на экране не прерываются. Кроме того, появляется возможность синхронизации «одновременно» частот обоих каналов с частотой генератора развертки. Практически удается остановить изображение двух случайно взятых звуковых частот с помощью внешней синхронизации. Так как амплитуды исследуемых напряжений могут значительно отличаться, то используется цепь внешней синхронизации с усилением.

Подав на вход одного из каналов постоянное напряжение, можно получить на экране отметку постоянной составляющей напряжения в виде отрезка прямой линии и исследовать процессы по переменной и постоянной составляющим одновременно.

В коммутаторе использованы поляризованные реле типа РП-4. Без каких-либо переделок при зазорах 0,04—0,05 *мм* коммутатор переключает каналы с частотой, соответствующей низшей частоте развертки применяемого осциллографа; наибольшая частота переключения равняется 200 *гц*. Импульсный трансформатор *Тр* выполнен на сердечнике сечением 2 *см*². Обмотка *I* имеет 30 000 витков провода ПЭЛ 0,12, обмотка *II* — 6 000 витков провода ПЭЛ 0,12. Конденсаторы C_2, C_3 должны быть с бумажным диэлектриком.

Конструктивно коммутатор выполнен в виде приставки к осциллографу, имеющему выход напряжения развертки. Его, как и другие релейные коммутаторы, лучше всего применять с осциллографами, у которых электроннолучевая трубка имеет значительное послесвечение.

Коммутаторы на электронных лампах

Двухканальный коммутатор. Двухканальный коммутатор, схема которого приведена на рис. 30, собран на двух двойных триодах Он включает в себя входное устройство (R_1, R_9), переклю-

чающее устройство ($Л_{1а}$, $Л_{2б}$), генератор коммутирующих импульсов ($Л_{1б}$, $Л_{2а}$). Исследуемые напряжения через входные устройства (резисторы R_1, R_9), которые служат для регулировки усиления, подаются на ключи (на сетки ламп $Л_{1а}$ и $Л_{2б}$, работающих на общую нагрузку R_7). Ключи поочередно запираются прямоугольным напряжением, которое создается мультивибратором, собранным на лампах $Л_{1б}$ и $Л_{2а}$. Поскольку схемы каналов симметричны, то достаточно рассмотреть работу лампы $Л_1$. Предположим, что лампа $Л_{1б}$ открыта и напряжение между сеткой и катодом у нее равно нулю. При

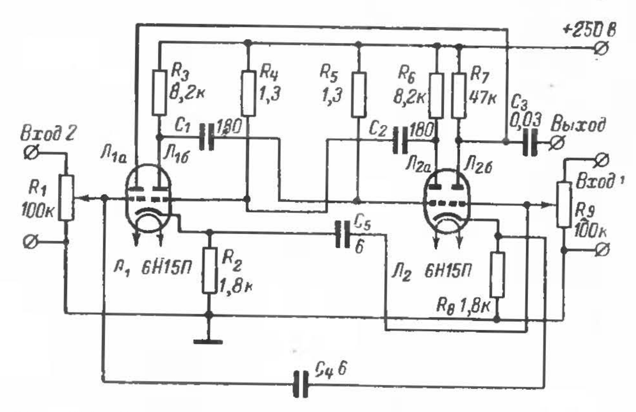


Рис. 30. Двухканальный коммутатор на электронных лампах.

этом через лампу течет большой ток, который создает на катоде напряжение, достаточное для запирания лампы $Л_{1а}$. Тот же ток создает на анодном резисторе R_3 падение напряжения, которое запирает лампу $Л_{2а}$. При этом лампа $Л_{2б}$ работает в режиме усиления с отрицательной обратной связью в цепи катода. И, следовательно, сигнал, подаваемый на *Вход 1*, усиливается этой лампой и выделяется на общей нагрузке R_7, с которой через конденсатор C_3 подается на вход усилителя вертикального отклонения осциллографа. В таком состоянии схема находится до тех пор, пока конденсатор C_1 не перезарядится настолько, что напряжение между сеткой и катодом лампы $Л_{2а}$ станет равным напряжению отпирания. В этот момент происходят опрокидывание мультивибратора и переключение входов.

Частота колебаний мультивибратора, определяемая величинами C_1, C_2, R_2—R_6, R_8, при номиналах, приведенных на схеме, равна 7 *кгц*; максимальная частота исследуемых сигналов не превышает 100—150 *кгц*.

Коммутатор смонтирован на металлическом шасси размерами 50×70×100 *мм*.

При работе с коммутатором для внешней синхронизации осциллографа лучше всего использовать исследуемые сигналы, иначе изображение сигнала будет «бежать» по экрану.

Четырехканальный коммутатор. Схема коммутатора, приведенная на рис. 31, такова, что число коммутируемых каналов можно

изменять. Частота коммутации четырехканального коммутатора 10 *кгц*. Эта частота связана с числом каналов обратной пропорциональной зависимостью. Для исследования процессов, частота которых равна частоте коммутации или близка к ней, предусмотрена плавная регулировка последней (R_{41}). В данном случае импульсы, гасящие электронный луч осциллографа во время переключения каналов, не нужны, так как время переключения каналов очень мало. Возникающая при этом засветка экрана не мешает наблюдению процессов, а на экране импульсного осциллографа при нормальной яркости луча засветки не наблюдается. Поэтому коммутатор можно использовать с любым осциллографом. Амплитуда входного сигнала не менее 0,1 *в* при выходном напряжении около 6 *в*. Полоса пропускаемых частот 0—20 *кгц*. Прибор питается от сети с напряжением 220 *в*.

Коммутатор состоит из входных устройств (R_3, R_{20}, R_{29}, R_{37}), переключающего устройства (электронных ключей), собранного на лампах $Л_5$—$Л_8$, генератора коммутирующих импульсов ($Л_1$—$Л_4$) и блока питания.

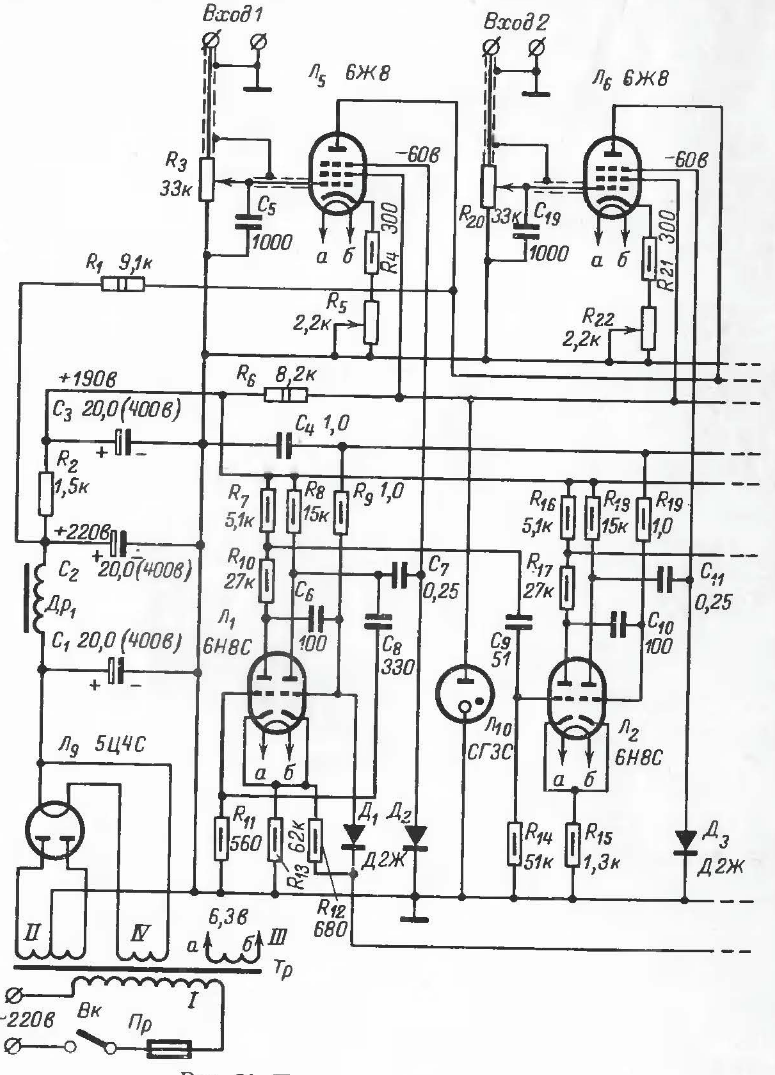
Генератор коммутирующих импульсов выполнен на лампах 6Н8С и состоит из четырех одновибраторов (ячеек). Все одновибраторы соединены последовательно (связь между одновибраторами осуществляется через C_9R_{14}, $C_{12}R_{23}$, $C_{15}R_{32}$, $C_{18}R_{13}R_{12}$), так что переброс одного из них в устойчивое состояние вызывает переброс следующего в неустойчивое состояние, причем последний одновибратор ($Л_4$) соединен с первым ($Л_1$). Поэтому цепочка одновибраторов получается соединенной по схеме, которая называется кольцевой. Неустойчивый режим как бы передается от одного одновибратора к другому. Для запуска такого генератора необходимы соответствующие импульсы. Роль генератора таких импульсов выполняет первая ячейка (первый одновибратор), собранная на лампе $Л_1$. При отсутствии генерации кольцевой схемы эта ячейка работает как релаксационный генератор, а в работе кольцевой схемы — по принципу остальных ячеек. Сопротивление резистора R_{13} в катодной цепи лампы $Л_1$ подобрано так, что напряжение смещения, подаваемое на управляющую сетку левой половины лампы, недостаточно для ее полного запирания. Дополнительное напряжение создается при протекании сеточного тока по цепи $R_{11}C_8$. При отсутствии генерации ток через конденсатор C_8 не протекает и дополнительное смещение отсутствует. Следовательно, оба триода лампы $Л_1$ открыты, а так как эта первая ячейка вместе с конденсатором C_8 представляет собой мультивибратор, то при таком состоянии ячейки он будет генерировать.

Постоянная времени цепи $R_{11}C_8$ выбрана так, чтобы до подачи напряжения с последней ячейки левый триод лампы $Л_1$ не успел открыться. Сработав один раз и запустив кольцевую схему, эта ячейка в дальнейшем работает подобно остальным. Число всех ячеек в кольцевой схеме равно числу коммутируемых каналов. С анодных нагрузок правых триодов каждой ячейки через разделительный конденсатор снимаются переключающие импульсы.

Переключающее устройство коммутатора собрано на лампах 6Ж8. На управляющие сетки этих ламп подаются исследуемые напряжения, а на защитные — переключающие импульсы. Лампы $Л_5$—$Л_8$ отпираются только с поступлением положительных переключающих импульсов, которые открывают диоды $Д_2$—$Д_5$, и потенциалы защитных сеток ламп становятся практически равными потен-

цоколю корпуса. При отсутствии переключающих импульсов на защитные сетки ламп $Л_5$—$Л_8$ подается отрицательное напряжение с соответствующих одновибраторов. Так как переключающие импульсы приходят поочередно, то и лампы отпираются и запираются поочередно. Лампы переключающего устройства работают на общую нагрузку R_1, напряжение с которой подается на осциллограф. Изображения сигналов на экране осциллографа можно перемещать по экрану, изменяя сопротивление резисторов в цепях катодов ламп $Л_5$—$Л_8$.

Выпрямитель блока питания собран на лампе 5Ц4С по двухполупериодной схеме. Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения включены *LC*- и *RC*-фильтры. Стабилитрон $Л_{10}$ (СГЗС) предназначен для стабилизации напряжения питания экранных сеток.



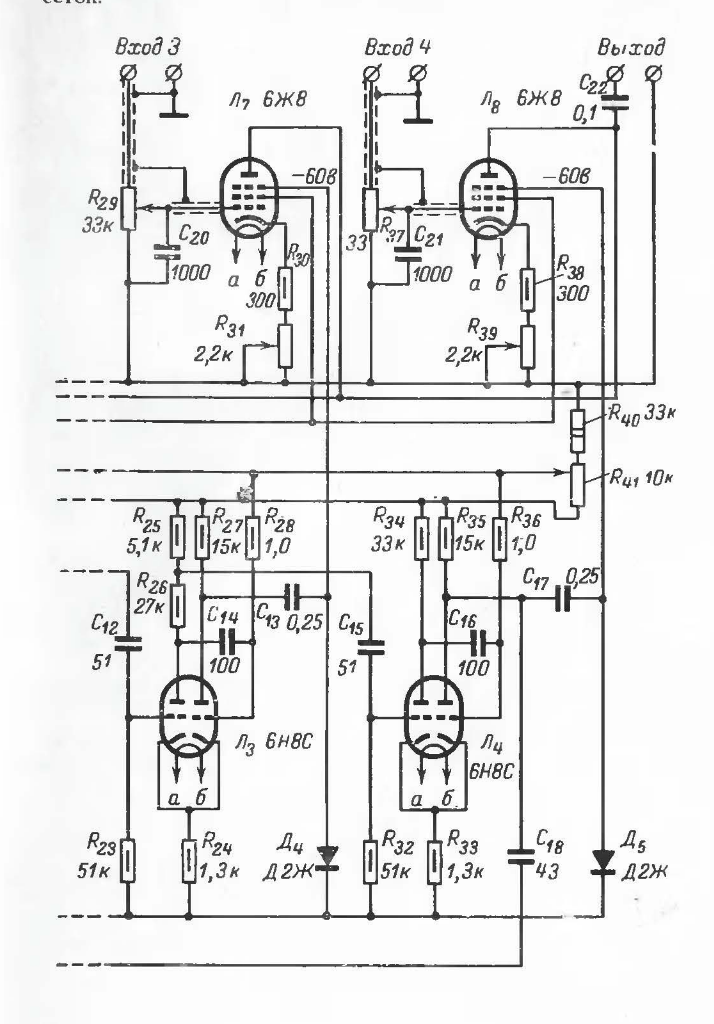


Рис. 31. Принципиальная схема четырехканального коммутатора на электронных лампах.

Для налаживания коммутатора необходимо иметь осциллограф и авометр с внутренним сопротивлением не менее 5 *ком/в*. Налаживание прибора начинают с проверки напряжения питания. Анодное напряжение генератора коммутирующих импульсов при всех включенных лампах не должно отличаться более чем на 10% от указанного в схеме, в противном случае его необходимо подрегулировать изменением сопротивления резистора R_2. Напряжения на электродах ламп 6Н8С надо измерять при отсутствии генерации. Для этого вывод конденсатора C_6 нужно временно отпаять. Работу лампы $Л_1$ проверяют при разорванной связи с последней ячейкой ($Д_1C_{18}$). При этом мультивибратор должен генерировать. Остальные ячейки проверяют следующим образом. Напряжение с резистора R_7, включенного в анодную цепь лампы $Л_1$, подают на зажимы внешней синхронизации осциллографа. Включают ждущую развертку с запуском от сигнала отрицательной полярности. Импульс первой лампы должен совпадать по времени с началом развертки. Импульсы остальных ячеек должны отставать от начала развертки на сумму длительностей импульсов всех предыдущих ячеек. По окончании проверки последней лампы связь $Д_1C_{18}$ восстанавливают. Проверка переключающего устройства сводится к проверке отрицательного напряжения на защитных сетках и подбору резистора R_6 в цепи экранных сеток. Сопротивление резистора указано в схеме для четырех каналов. При другом количестве каналов резистор R_6 подбирают по току стабилитрона СГЗС. Во время налаживания коммутатор приходится часто включать и выключать; надо иметь в виду, что бросок тока при включении коммутатора с неостывшими катодами ламп может перебросить внеочередную ячейку и работа прибора нарушится.

Силовой трансформатор коммутатора намотан на сердечнике из пластин Ш32, толщина набора 42 *мм*. Обмотки содержат: *I* — 860 витков провода ПЭЛ 0,35; *II* — 1 430 витков провода ПЭЛ 0,18; *III* — 26 витков провода ПЭБД 1,7; *IV* — 21 виток провода ПЭЛ 1,0. Сердечник дросселя фильтра набран из пластин Ш19, толщина набора 25 *мм*, толщина воздушного зазора 0,1 *мм*. Обмотка дросселя содержит 4 600 витков провода ПЭЛ 0,18.

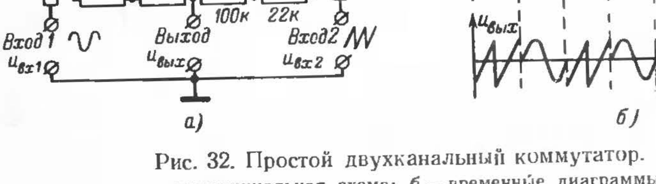
Коммутаторы на полупроводниковых приборах

Как уже отмечалось, электронные коммутаторы могут быть с успехом сконструированы на полупроводниковых приборах. Такие коммутаторы обладают рядом бесспорных преимуществ перед коммутаторами, построенными на электронных лампах: повышенной надежностью, меньшими габаритами и весом, незначительным потреблением энергии и т. д.

Ниже приведено описание четырех схем коммутаторов на полупроводниковых приборах.

Простой двухканальный коммутатор. Коммутатор, схема которого приведена на рис. 32,*а*, собран на четырех транзисторах. Он состоит из входного устройства (R_5, R_6), которое служит для ослабления входного сигнала, генератора коммутирующих импульсов и переключающего устройства. Генератор коммутирующих импульсов выполнен по схеме симметричного мультивибратора, работающего в непрерывном режиме, на транзисторах T_1 и T_2, которые включены по схеме с общим эмиттером. Конденсатор, обозначенный *C*, при выбранных значениях R_1—R_4 определяет частоту переключения, которая при применении транзисторов П403 может достигать 100 *кгц* и более. Переключающее устройство собрано на транзисторах T_3 и T_4, которые включены по схеме эмиттерного повторителя и работают на общую нагрузку R_9, R_{10}.

Временные диаграммы, поясняющие работу коммутатора, приведены на рис. 32,*б*. С резисторов нагрузки мультивибратора R_1 и R_2 на базы транзисторов T_3 и T_4 подается одновременно последовательность импульсов, находящихся в противофазе ($u_{к1}$, $u_{к2}$ на рис. 32,*б*). Эти импульсы поочередно запирают и отпирают каждый транзистор. Причем, если в течение данного полупериода один транзистор, например T_3, отперт, то T_4 в это время заперт. Так как



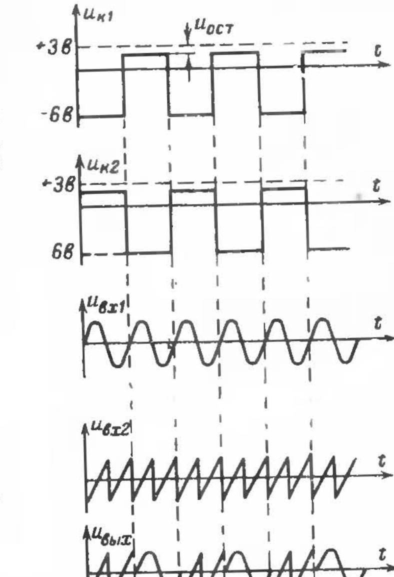


Рис. 32. Простой двухканальный коммутатор.

а — принципиальная схема; *б* — временные диаграммы.

сопротивление открытого транзистора, в данном случае T_3, в режиме насыщения незначительно (10—100 *ом*), то сигнал с *Входа 1* не подается на выход коммутатора, а замыкается через открытый транзистор T_3 на землю. Сопротивление закрытого транзистора, в данном случае T_4, велико (>1 *Мом*), и сигнал со *Входа 2* подается на выход коммутатора. В следующий полупериод транзистор T_3 закрыт, а T_4 открыт и на выходе коммутатора появляется сигнал, подаваемый на *Вход 1*, и т. д. ($u_{вых}$ на рис. 32,*б*). Резисторы R_7 и R_8 предохраняют источники исследуемых сигналов от перегрузки.

Коммутатор питается от батарей, установленных в одном корпусе со схемой, так что только два входных гнезда и одно выходное необходимы для внешних соединений. Рекомендуется синхронизировать осциллограф через вход *Внешняя синхронизация* одним из исследуемых сигналов.

Двухканальный коммутатор. Описываемый двухканальный коммутатор удобен в работе и позволяет просто решать многочислен-

Рис. 33. Функциональная схема двухканального коммутатора на полупроводниковых приборах.

ные задачи инженерной практики: измерение сдвига фаз между двумя сигналами и, в частности, между входным и выходным напряжениями усилителя; определение коэффициента усиления усилителя; сравнение двух частот. Он имеет следующие технические характеристики: частотный диапазон входных сигналов 20 *гц* — 250 *кгц*; входное сопротивление каждого канала 100 *ком*; входная емкость 100 *пф*; коэффициент деления входных делителей, имеющих 14 ло-

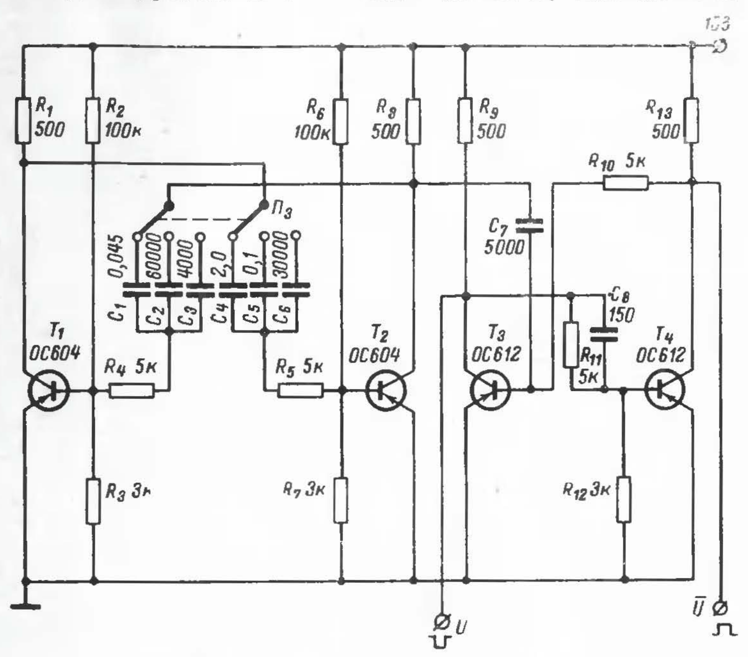


Рис. 34. Схема генератора коммутирующих импульсов.

гарифмических ступеней, изменяется от 1 : 0,7 до 1 : 100; максимальное входное постоянное напряжение 160 *в*; частота коммутации 50, 500 *гц* и 5 *кгц*; выходное сопротивление 3 *ком*; напряжение питания 110, 220 *в*, 40—60 *гц*; потребляемая от сети мощность 3 *вт*. В коммутаторе предусмотрена возможность перемещения изображений исследуемых сигналов по экрану осциллографа.

Как видно из рис. 33, на котором приведена функциональная схема коммутатора, прибор состоит из двух идентичных входных устройств, генератора коммутирующих импульсов, переключающего устройства, выходного устройства и блока питания.

Генератор коммутирующих импульсов (рис. 34) вырабатывает прямоугольные импульсы, которые подаются на переключающее устройство. Он состоит из мультивибратора, работающего в непрерывном режиме и одновибратора (ждущего мультивибратора). Мультивибратор управляет работой одновибратора и собран на транзисторах T_1 и T_2, включенных по схеме с общим заземленным эмитте-

ром. На базы T_1 и T_2 с делителей напряжения (R_2, R_3 и R_6, R_7 соответственно) подается такое напряжение смещения, что в статическом режиме через транзисторы протекает незначительный коллекторный ток. Рабочие точки транзисторов, задаваемые смещением, выбраны таким образом, что ни при изменении температуры окружающей среды, ни при смене транзисторов не происходит срыва колебаний мультивибратора. Конденсаторы от C_1 до C_6, которые соединяют коллектор одного транзистора (например, T_1) с базой другого (T_2), попарно несимметричны. Меньшие по емкости конденсаторы C_1, C_2, C_3 (при заданном напряжении питания и известных R_2, R_3, R_4) определяют частоту колебаний мультивибратора, а бóльшие по емкости конденсаторы C_4, C_5, C_6 улучшают фронты выходных импульсов мультивибратора, снимаемых с сопротивления нагрузки R_8 транзистора T_2. Импульсы с мультивибратора через конденсатор C_7 подаются для запуска одновибратора, собранного на высокочастотных транзисторах T_3 и T_4, эмиттеры которых соединены с землей. С резисторов нагрузки R_9 и R_{13} транзисторов одновибратора снимаются коммутирующие импульсы, сдвинутые относительно друг друга на 180°.

Входное устройство первого канала включает в себя входной делитель, ограничитель и эмиттерный повторитель, который служит для согласования сопротивлений источника исследуемых сигналов и последующей схемы (рис. 35). Входной частотнокомпенсированный делитель напряжения, предназначенный для ослабления входного сигнала, состоит из R_1, C_1, C_{14}, R_{32}. Значение сопротивления нижней половины делителя (R_{32}) и конденсатора C_{14} устанавливается переключателем $П_1$ — амплитуда изображения первого канала. С выхода делителя исследуемый сигнал подается через конденсатор C_2 на базу T_5, включенного по схеме эмиттерного повторителя. Через конденсатор C_2 проходит только переменная составляющая исследуемого сигнала. Резистор смещения R_{33} транзистора T_5 служит для установки его рабочей точки. Чтобы транзистор T_5 не перегружался, введена схема ограничения. Положительная полуволна исследуемого сигнала ограничивается высокочастотным диодом $Д_1$, включенным между базой и землей. Ограничение происходит, когда потенциал базы становится выше, чем потенциал земли. Отрицательная полуволна ограничивается переходом база-коллектор. Ограничение происходит, когда потенциал базы становится более отрицательным, чем напряжение питания (—10 *в*).

Входное устройство второго канала идентично входному устройству первого канала. Амплитуда изображения во втором канале регулируется $П_2$.

Переключающее устройство состоит из двух идентичных схем, расположенных в каждом канале. Схема каждого канала состоит из моста и корректирующей цепи. В мостовой схеме на подаваемый входной сигнал накладывается постоянное напряжение и под действием переключающих импульсов из суммарного напряжения формируется последовательность импульсов. Корректирующая цепь служит для подавления нежелательного колебательного процесса в момент переключения. Поскольку схемы идентичны, рассмотрим подробно схему первого канала. Мост состоит из резисторов R_6, R_7, R_8 и R_3, параллельно которому включен конденсатор C_4. Входной сигнал подается к мосту между точками *А* и *Б*. Точка *Б* соединена с движком потенциометра R_{14}, подключенного к источнику питания. Значение постоянного напряжения, снимаемого с движка R_{14}, опре-

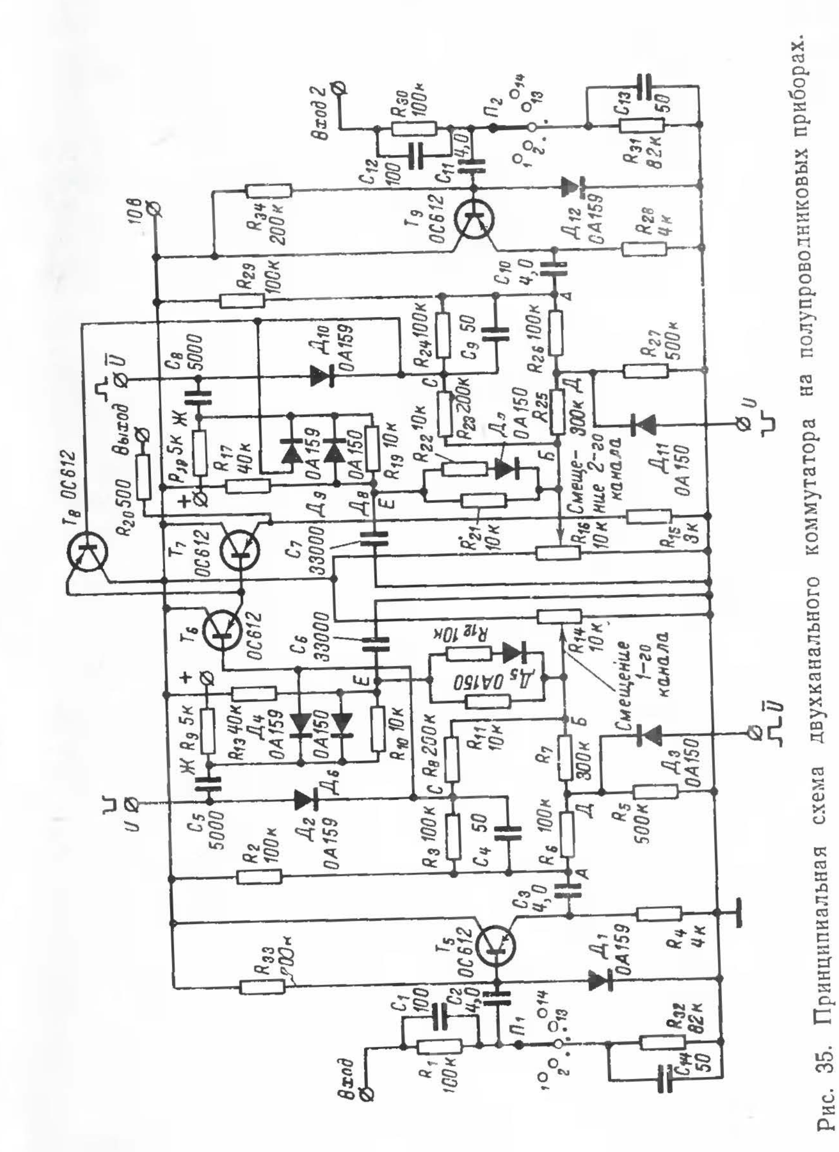


Рис. 35. Принципиальная схема двухканального коммутатора на полупроводниковых приборах.

деляет положение линии развертки первого канала на оси Y осциллографа. Через резистор R_2 к мосту подается постоянный ток, обеспечивающий смещение моста в том случае, когда движок R_{14} соединен с землей. Конденсатор C_3 служит для развязки по постоянному напряжению нагрузки эмиттерного повторителя (R_4) и схемы моста. К точкам C и $Д$ моста подаются оба выходных сигнала генератора коммутирующих импульсов. Переключающие импульсы служат для питания моста, а поскольку диагональ $АБ$ в этом случае будет индикаторной, то не будет иметь место воздействие сигналов генератора коммутирующих импульсов на вход коммутатора. Без корректирующей цепи во время переднего фронта переключающих импульсов на экране просматривается нежелательный колебательный процесс, обусловленный наличием конденсатора C_4, необходимого для коррекции частотной характеристики усилителей выходного устройства. В корректирующую цепочку входят резисторы R_9—R_{13}, конденсаторы C_5, C_6 и диоды $Д_4$—$Д_6$. Названные сопротивления образуют делитель напряжения с двумя отводами $Е$ и $Ж$. Потенциал этих отводов изменяется при перемещении движка потенциометра R_{14}. За счет диода $Д_5$ потенциал движка R_{14} оказывает особенно сильное влияние на упомянутый делитель, когда движок находится в крайних положениях. Цепь RC, состоящая из C_5, резисторов, присоединенных к точке $Ж$, а также диодов $Д_4$, $Д_6$, дифференцирует прямоугольные импульсы, поступающие от генератора коммутирующих импульсов. Таким образом, в точке $Ж$ из фронтов переключающих импульсов образуются положительные и отрицательные пики, которые накладываются на постоянное напряжение в точке $Ж$. Отрицательные пики ограничиваются диодом $Д_6$, если их амплитуда превышает его напряжение смещения. Конденсатор C_6 служит для отвода продифференцированных импульсов на землю.

Выходное устройство коммутатора собрано на транзисторах T_6, T_8, включенных в схему каждого канала и работающих на общую нагрузку — транзистор T_7. Все три транзистора включены по схеме с общим коллектором. На вход транзистора $T_6(T_8)$ подается модулированный входной сигнал и через $Д_4$ сигнал с корректирующей цепи для подавления нежелательного колебательного процесса. На резисторе R_{15}, который служит нагрузкой транзистора T_7, в такт переключающим импульсам выделяется сигнал, подаваемый то с *Входа 1*, то с *Входа 2* коммутатора поочередно. Резистор R_{20}, включенный последовательно с выходом, служит для защиты выходного устройства от коротких замыканий.

В блоке питания применен унифицированный трансформатор, выпрямитель собран по мостовой схеме; в качестве фильтра используется обычный П-фильтр, состоящий из двух шунтирующих конденсаторов и последовательного сопротивления.

Прибор собран в металлическом корпусе с размерами 220×160×125 *мм*. Основные узлы прибора располагаются на плате, которая смонтирована с применением печатного монтажа. На передней панели прибора располагаются: выключатель сети с индикаторной лампочкой, переключатель частоты коммутации $П_3$, переключатели $П_1$ и $П_2$, переменные сопротивления R_{14} и R_{16}, а также входные и выходные клеммы. Для уменьшения связи между каналами, а также влияния блока питания на оба канала, основные узлы еще раз экранируются в собственные корпуса. Перегрев внутри корпуса прибора незначительный, так как потребляемая мощность мала. Вес прибора — 3,5 *кг*.

Двухканальный коммутатор с переключением каналов в момент обратного хода луча. Двухканальный коммутатор, схема которого приведена на рис. 36,*а*, предназначен для работы с осциллографом, имеющим выходные гнезда напряжения развертки (например, С1-20 и др.). Однако коммутатор можно использовать и с осциллографами, у которых нет выхода напряжения развертки. Но при этом желательно наличие генератора прямоугольных импульсов, который служит для запуска коммутатора и синхронизации осциллографа. В этом случае вместо пилообразного напряжения для запуска одновибратора коммутатора используются импульсы генератора. При этом частота коммутации и частота развертки будут синхронны, что очень важно для получения качественного изображения. Если такого генератора нет, то для запуска коммутатора можно использовать звуковой генератор или несколько переделать схему. В этом случае фазоинверсный каскад (T_1) и одновибратор (T_2, T_3) не собираются, а для запуска триггера (T_4, T_5) через C_5 подаются импульсы положительной полярности с плеча мультивибратора, собранного по любой схеме.

Рассматриваемый коммутатор позволяет наблюдать периодические процессы, частота которых не выше 150 *кгц*. Частота переключения не более 30 *кгц*. Применяя высокочастотные транзисторы П403, П416, можно повысить частоту переключения. Напряжение питания 9 *в*, потребляемый ток 5,5—6 *ма*. Амплитуда исследуемого сигнала может достигать 2 *в*.

Схема работает следующим образом. Напряжение пилообразной формы $А$ (рис. 36,*б*) с зажимов *Напряжение развертки* осциллографа подается на запуск одновибратора (T_2, T_3) через фазоинверсный каскад, собранный на транзисторе T_1 (точка $Б$). Благодаря надлежащей регулировке потенциометром R_4 достигается срабатывание одновибратора от спада импульса пилообразной формы. С резистора нагрузки (точка $В$) транзистора T_3 положительный прямоугольный импульс (длительность импульса определяется параметрами цепи R_{23}, C_6, R_{24}, R_{28}) через дифференцирующую цепочку C_5R_{20} (точка $Г$) подается на триггер T_4, T_5 (генератор коммутирующих импульсов коммутатора) и запускает его. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ — счетная схема запуска триггера, который переключается положительными импульсами (точка $Д$). Каждый приходящий импульс (во время каждого периода развертки) переключает триггер. В течение четных периодов развертки триггер находится в одном устойчивом состоянии (например, T_4 заперт, T_5 отперт), а в течение нечетных — в другом устойчивом состоянии. На резисторах нагрузки (R_{13}, R_{14}) появляются положительные импульсы в ритме периода развертки (точки $Е$, $Ж$). Длительность этих импульсов меньше соответствующего периода пилообразного напряжения. Эти импульсы подаются на базы транзисторов T_6 и T_7 переключающего устройства, включенных по схеме эмиттерного повторителя. Импульсы с триггера поочередно запирают или отпирают транзисторы T_6 и T_7. Когда транзистор T_6 или T_7 заперт, соответствующее исследуемое напряжение поступает на выход коммутатора, а затем на вход усилителя вертикального отклонения осциллографа. Если транзистор T_6 или T_7 отперт, то исследуемый сигнал закорачивается на корпус (сопротивление открытого транзистора 10—100 *ом*) и на выход коммутатора не поступает. Процесс переключения происходит в момент обратного хода луча. Чтобы можно было перемещать обе линии развертки по оси Y экрана осциллографа, на выходное гнездо подается с коллекторов

T_4 и T_5 соответствующий прямоугольный импульс через резистор R_3, регулирующий амплитуду и полярность выходного сигнала.

При налаживании для запуска одновибратора необходимо подать пилообразное напряжение и проконтролировать форму напря-

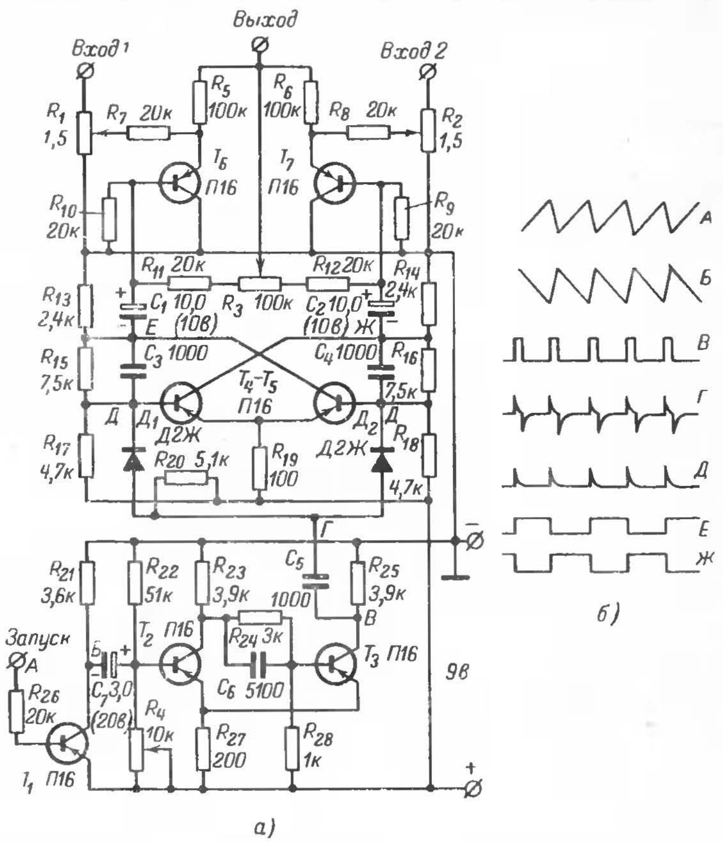


Рис. 36. Двухканальный коммутатор с переключением каналов в момент обратного хода луча.

а — принципиальная схема; *б* — временны́е диаграммы.

жений в соответствии с временно́й диаграммой (рис. 33,*б*). После этого выход коммутатора надо соединить со входом усилителя вертикального отклонения осциллографа. При этом на экране осциллографа должны появиться две линии развертки. При регулировке сопротивления резистора R_3 они должны перемещаться относительно друг друга. Режимы работы транзисторов, измеренные авометром ТТ-1, приведены ниже:

Транзисторы	T_2	T_3	T_4	T_5
$I_к$, *ма* . . .	1—1,1	0,8—0,9	1,6—1,7	1,6—1,7

Монтаж коммутатора выполнен на гетинаксовой плате размерами 90×180 *мм*, которая помещена в металлический кожух 95×185×30 *мм*. На плате сверху располагаются регулировочные переменные резисторы типа СПО. В качестве источника питания используются две батарейки КБС-Л-0,5.

Четырехканальный коммутатор. Иногда в практике встречается необходимость одновременного наблюдения четырех осциллограмм. Для этой цели нужно иметь четырехканальный коммутатор, так как количество одновременно наблюдаемых осциллограмм определяется

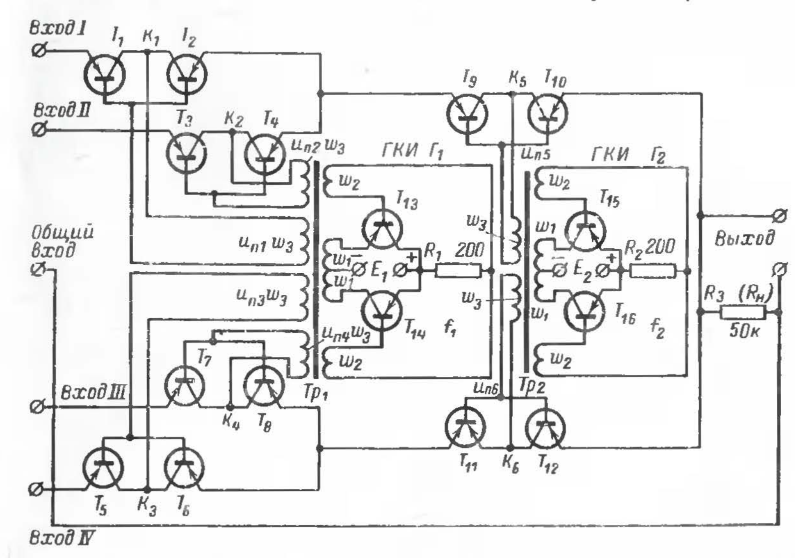


Рис. 37. Принципиальная схема четырехканального коммутатора на транзисторах.

количеством каналов в электронном коммутаторе. Четырехканальные коммутаторы имеют, как правило, электрические схемы сложные в наладке и в изготовлении. Они характеризуются сравнительно большими габаритами и весом, дорого стоят. Описываемый коммутатор, схема которого приведена на рис. 37, выполнен на 16 транзисторах и отличается простотой конструкции и надежностью в эксплуатации. Он состоит из переключающего устройства, имеющего две ступени коммутации, и двух генераторов коммутирующих импульсов $Г_1$ и $Г_2$. В первую ступень переключающего устройства входят ключи K_1—K_4, собранные на транзисторах T_1—T_8, во вторую — ключи K_5, K_6 (T_9—T_{12}). Пары транзисторов T_1, T_2, T_3, T_4 и т. д. представляют собой схему ключа с инверсным включением транзисторов, работа которого была описана ранее (см. гл. 2). Цепи база-коллектор ключей K_1—K_4 питаются импульсами прямоугольной формы от генератора $Г_1$, работающего с частотой переключения $f_{п1}$. Схема их подключения такова, что коммутирующие напряжения $u_{п1}$ и $u_{п2}$ и соответственно $u_{п3}$ и $u_{п4}$ находятся в противофазе. За счет этого ключи K_1 и K_2 и соответственно K_3 и K_4 будут замыкаться и

размыкаться поочередно попарно. Пусть обмотки включены таким образом, что в первый полупериод импульсов от $Г_1$ одновременно замыкаются ключи K_1 и K_3 (K_2 и K_4 — размыкаются), а во второй полупериод — ключи K_2 и K_4. В первый полупериод, когда ключи K_1, K_3 под действием коммутирующего напряжения $u_{п1}$ и $u_{п3}$ замыкаются, исследуемые напряжения, подводимые на *Вход I* и *Вход III*, будут проходить на вход второй ступени переключающего устройства, работающего на общую нагрузку R_3. Во второй полупериод на вторую ступень будут подаваться сигналы с *Входа II* и *Входа IV*. Ключи K_5 и K_6 второй ступени питаются импульсами прямоугольной формы от генератора $Г_2$, работающего с частотой $f_{п2}$. Обмотки w_3 $Тр_2$ включены таким образом, что коммутирующие напряжения $u_{п5}$ и $u_{п6}$ находятся в противофазе. За счет этого ключи K_5 и K_6 будут поочередно замыкаться и размыкаться. Когда замкнут ключ K_5, то на выход коммутатора подается сигнал с *Входа I* (или с *Входа II*), а когда замкнут ключ K_6, то с *Входа III* и *Входа IV*. Таким образом, соединение ключей в две ступени и соответствующая фазировка коммутирующих напряжений позволяют поочередно подавать на выход коммутатора все четыре исследуемых напряжения, подводимых к соответствующим входам коммутатора.

Частоты генераторов $f_{п1}$ и $f_{п2}$ не должны быть равны друг другу. Относительно же частоты исследуемых сигналов частоты $f_{п1}$ и $f_{п2}$ коммутирующих сигналов могут в принципе выбираться любыми. Если частоты $f_{п1}$ и $f_{п2}$ больше частоты исследуемых напряжений, то кривые на осциллографе будут воспроизводиться совокупностью коротких черточек. Если же частоты $f_{п1}$ и $f_{п2}$ ниже частоты исследуемых напряжений, то на выход коммутатора поочередно по каждому каналу проходит по нескольку периодов исследуемых сигналов. В этом случае при синхронизации развертки осциллографа напряжением сигнала осциллограмма будет казаться непрерывной.

В качестве генераторов прямоугольных импульсов $Г_1$ и $Г_2$ используются симметричные двухполупериодные генераторы с положительной трансформаторной обратной связью, собранные по схеме Ройера на триодах T_{13}—T_{16} и трансформаторах $Тр_1$ и $Тр_2$. Частоты у генераторов $f_{п1}=2\,500$ *гц*, $f_{п2}=6\,300$ *гц*. Генераторы питаются от источника постоянного тока в виде мостового выпрямителя на диодах Д7А с емкостным фильтром. Напряжения питания у генераторов E_1 и E_2 10—12 *в*.

Трансформаторы $Тр_1$ и $Тр_2$ тороидальной формы с сечением 1 $см^2$. Для $Тр_1$ обмотки $w_1=200\times2$; $w_2=32\times2$; $w_3=10\times2$ витков. Все обмотки намотаны проводом ПЭ диаметром 0,2 *мм*. Для трансформатора $Тр_2$ обмотки $w_1=125\times2$; $w_2=20\times2$; $w_3=7\times2$ витков. Обмотки $Тр_2$ намотаны тем же проводом.

Описанный полупроводниковый четырехканальный коммутатор может быть применен при исследовании и наладке фазовращающих устройств, в сложных цепях переменного тока, для наладки систем автоматического регулирования, а также в телемеханике.